

Universidad de Cuenca



Facultad de Ingeniería

Electrónica Y Telecomunicaciones

ESTUDIO TÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE SERVICIO OFRECIDO A LOS USUARIOS DE LA RED WIMAX DE ETAPA EP EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE CUENCA

Tesis previa a la obtención
del Título de Ingeniero en Electrónica y
Telecomunicaciones

Autores:

Fredy Marcelo Calle Calle
Fabián Patricio Guamán Chalco

Directora:

Ing. Sofía Priscila Arévalo Maldonado

Cuenca - Ecuador
Abril 2016

Resumen

RESUMEN La empresa municipal de Cuenca ETAPA EP provee el servicio de internet inalámbrico mediante la tecnología WiMAX (Interoperabilidad mundial para el acceso por microondas), utilizada para el acceso de última milla en aquellas zonas donde la cobertura de redes de cobre para banda ancha es insuficiente. El objetivo de este proyecto es realizar un estudio técnico para mejorar la calidad de servicio de internet ofrecido a los usuarios de la red WiMAX de ETAPA EP en la zona urbana de la ciudad de Cuenca. Inicialmente, se presenta un fundamento teórico que permite entender la arquitectura, el funcionamiento y las principales características de la tecnología WiMAX, a la vez que se revisa las características de algunos programas de simulación para la planificación de redes de telecomunicaciones, de los cuales se elige ICS TELECOM por su cartografía digital disponible, predicción de cobertura, rendimiento e interferencia. Posteriormente se realiza un levantamiento del estado actual de la red por medio de mediciones del ángulo de inclinación (tilt) y la orientación (azimut) de las antenas transmisoras de cada BTS. Con los datos obtenidos de las mediciones se realizan simulaciones de cobertura, análisis de interferencia y rendimiento de la red, además se realizan cálculos de tráfico y capacidad. A continuación, se efectúa pruebas de campo donde se logra determinar las zonas críticas de la red, y se comparan con los resultados de las simulaciones realizadas. También se efectúa un análisis del estado de conexión de los usuarios fijos con la obtención de datos del gestor M2000 de WiMAX. Finalmente, usando ICS TELECOM se plantea cambios en la red para mejorar la cobertura y solucionar los problemas encontrados. Con los nuevos parámetros de azimut y tilt propuestos se modifican tres BTSs del Centro y se efectúa pruebas de campo para determinar la efectividad de los cambios realizados, obteniendo como resultado un mejoramiento del 33,3 % en la zona intervenida.

Palabras claves ETAPA EP, WiMAX, IEEE 802.16, ICS TELECOM, M2000 manager, Optimización, red inalámbrica, drive test.

Abstract

The municipal Company of Cuenca ETAPA EP provides wireless internet service through WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) technology, using the last mile access in areas where copper network coverage for broadband is insufficient. The objective of this project is to perform a technical study to improve the quality of service offered to internet users of the network WiMAX of ETAPA EP in the urban area of the city of Cuenca. Initially, the theoretical foundation that allows us to understand the architecture, operation, and main features of WiMAX technology is presented; at the same time, the characteristics of some simulation programs for planning telecommunication networks are reviewed and presented, of which ICS TELECOM is chosen for its digital mapping available, coverage prediction, and interference performance. Subsequently, a survey of the current state of the network by measurements of the tilt angle and azimuth of the transmitting antenna of each BTS is performed. With the data obtained from the measurements some simulations of coverage, interference analysis and network performance are performed. Additionally, traffic field tests and capacity are done. Then some drive tests that makes it possible to determinate the critical areas of the network and compare it with the results of the simulations are performed. Also, an analysis of the connection state of fixed users with data collection from the WiMAX manager M200 is undertaken. Finally, with the use of ICS TELECOM some network changes are proposed to improve coverage and solve the problems that were found. With the new azimuth and tilt parameters proposed, three BTSs of the Historical Center were modified, and then some new drive tests were performed to determine the effectiveness of the changes made, resulting in an improvement of 33,3 % in the affected area.

Keywords ETAPA EP, WiMAX, IEEE 802.16, ICS TELECOM, M2000 manager, Optimization, Wireless network, drive test.

Índice general

Lista de Acrónimos	1
1 Introducción	23
1.1 Antecedentes	23
1.2 Objetivo General	23
1.3 Objetivos Específicos	24
1.4 Revisión Bibliográfica	24
1.5 Contribución de la tesis	24
1.6 Actividades realizadas	25
2 Estándar IEEE 802.16 WiMAX	27
2.1 Introducción a WiMAX	27
2.2 Características principales de WiMAX.	27
2.3 Arquitectura del estándar WiMAX.	31
2.3.1 Red de Servicio de Acceso	31
2.3.2 Capa MAC de WiMAX	34
2.3.3 Capa Física	38
2.4 Codificación del Canal	49
2.4.1 Aleatorización de los datos	49
2.4.2 Codificación	50
2.5 Control de Potencia	51
2.5.1 Tecnologías MIMO y Formación de haz (Beamforming)	53
2.6 Handoff en WiMAX	55
2.6.1 Hard Handoff	56
2.6.2 Macrodiversidad de Handoff	57
2.7 Modelos de Propagación	61
2.7.1 Modelo Hata	61
2.7.2 Modelo Hata COST-231	63
2.7.3 Modelo SUI	64
2.7.4 Modelo del Espacio Libre	65
2.7.5 Modelo de difracción ITU-R 525/526 BULLINGTON	66
2.7.6 Modelo ITU-R 525/526 DEYGOUT	68
2.7.7 Modelo de Propagación Elegido para la Simulación	69
2.8 Parámetros de planificación de una red WiMAX móvil	69

2.9	Análisis de estándares sobre WiMAX	71
3	Estudio Técnico para el mejoramiento de la calidad de servicio a los usuarios de la Red WiMAX en Cuenca	73
3.1	Introducción	73
3.2	Levantamiento del estado actual de la red WiMAX de la zona urbana de Cuenca	75
3.2.1	Información de los parámetros de la red WiMAX	75
3.2.2	Diseño actual de la Red WiMAX	83
3.3	Determinación de requisitos, cálculos de tráfico y capacidad	88
3.3.1	Cálculo de velocidad de navegación	91
3.3.2	Cálculo de usuarios simultáneos	95
3.3.3	Cálculo del alcance del lóbulo principal dependiendo del ángulo de inclinación de las antenas	95
3.4	Selección del software de simulación	96
3.4.1	RADIO MOBILE	97
3.4.2	ATOLL	97
3.4.3	ICS TELECOM	98
3.4.4	Parámetros de Simulación	99
3.5	Simulación de la red WiMAX de ETAPA EP en la zona urbana de Cuenca	102
3.5.1	Cartografía digital en ICS TELECOM	102
3.5.2	Configuración de parámetros en ICS TELECOM	104
3.5.3	Simulación en ICS TELECOM	111
3.6	Evaluación de los resultados de la simulación y pruebas de campo	119
3.6.1	Equipos para las pruebas de campo	119
3.6.2	Evaluación de las pruebas de campo	120
3.6.3	Análisis de la simulación para las BTSs que intervienen en el centro histórico	127
3.6.4	Análisis de los usuarios fijos antes de las modificaciones	130
3.6.5	Obtención de datos de los usuarios fijos en el gestor de WiMAX	134
3.7	Propuesta de ajustes en la red para el mejoramiento de calidad de servicio.	135
3.7.1	Verificación de la configuración actual de vecindades para realizar el traspaso de celdas (handoff)	136
3.7.2	Propuesta de configuración de vecindades para el mejoramiento de handoff en WiMAX móvil.	140

3.7.3	Propuesta movimiento de azimuts y ángulos de inclinación de las antenas sectoriales	141
3.8	Implementación y evaluación de la red propuesta en las BTSs	
	Centro Escuela Allende y Mueblería Vera Vasquez	148
3.8.1	Análisis de la simulación para las BTSs modificadas en el centro histórico	151
3.8.2	Análisis de los cambios de cobertura producidos en la red y las pruebas realizadas	155
3.8.3	Análisis de los usuarios fijos en el centro después de las modificaciones	159
4	Conclusiones y Recomendaciones	163
4.1	Conclusiones	163
4.2	Recomendaciones	166

Índice de figuras

2.1	Arquitectura Red WiMAX [30]	33
2.2	Modelo de Referencia de la Red WiMAX [20]	34
2.3	Capa MAC y Capa Física de WiMAX [23]	35
2.4	Formato de PDU CS ATM [22]	36
2.5	Formato SDU MAC [22]	37
2.6	Formato MAC PDU [22]	37
2.7	a) Técnica Multiportadora convencional, b) Modulación con portadoras [29]	40
2.8	Diagrama de bloques para sistema OFDM en WiMAX	41
2.9	Símbolo OFDMA en el dominio del tiempo [23]	42
2.10	División en subcanales en OFDMA [3]	43
2.11	Señal en dos dimensiones OFDM [20]	43
2.12	Modulación Adaptiva en función de la SNR del canal [23]	45
2.13	Sub-Trama de Enlace de Bajada OFDMA [6]	46
2.14	Estructura de un clúster [1]	48
2.15	Modo de Permutación FUSC [1]	49
2.16	Generador de secuencias pseudoaleatorias para WiMAX OFDM [14]	50

2.17	Codificador FEC en WiMAX [14]	51
2.18	Diferencia de Control de potencia entre OFDM y OFDMA [1]	52
2.19	Modulación Adaptativa [20]	52
2.20	OFDM frente a OFDMA [20]	53
2.21	Comparación de un sistema WiMAX con beamforming y sin beamforming [28]	55
2.22	Handoff a nivel de BS [30]	56
2.23	Proceso de HHO [1]	57
2.24	Proceso de MDHO [1]	58
2.25	Geometría de Obstáculo Equivalente para el Modelo de Bullington [5]	66
2.26	Geometría de Difracción de la punta del obstáculo cuando el receptor se encuentra en una región de sombra. [24]	67
2.27	Cuatro ejes de la calidad de servicio [19]	72
3.1	Equipos para medir ángulo de inclinación de las antenas (izquierda) y azimuts (derecha)	76
3.2	Frecuencias de los sectores de cada BTS WiMAX con sus azimuts.	81
3.3	Patrón de radiación horizontal y vertical antenna tipo panel WiMAX modelo SL12436A	82
3.4	Arquitectura red WiMAX Cuenca	83
3.5	Componentes de la BTS DBS3900 [3]	84
3.6	CPE modelo 319M2W exterior e interior [7]	86
3.7	CPE modelo ARP-DP(3400-3600)-14-40	87
3.8	a) WiMAX usb BM338. b) Equipo interior HUAWEI BM635	88
3.9	Capas de la cartografía digital de ICS TELECOM [3]	102
3.10	Capa MTD modelo digital de terreno de la ciudad de Cuenca	103
3.11	Capa de imagen de la ciudad de Cuenca	103
3.12	Capa clutter de la ciudad de Cuenca	104
3.13	Capa de edificios de la ciudad de Cuenca	104
3.14	Ventana parámetros generales TX/RX ICS TELECOM	106
3.15	Configuración parámetros antenna SL12436A en Antios	107
3.16	Patrón de radiación antenna diseñada en Antios en 3D	107
3.17	Patrón de radiación horizontal cargado a ICS TELECOM	108
3.18	Patrón de radiación vertical cargado a ICS TELECOM	108
3.19	Configuración de canal de BTS WiMAX en ICS TELECOM	109
3.20	Configuración de ubicación de BTS WiMAX en ICS TELECOM	109
3.21	Configuración de un subscritor WiMAX en ICS TELECOM	110
3.22	Configuración de flujo de servicio del subscritor	111

3.23	Simulación de cobertura RSSI (dBm) con parámetros de Huawei . .	112
3.24	Representación de colores de los niveles RSSI y CINR	112
3.25	Valor de potencia en un punto específico (dBm)	113
3.26	Simulación de la cobertura RSSI (dBm) con parámetros medidos . .	114
3.27	Simulación de la cobertura RSSI (dBm) con parámetros medidos de la red WiMAX de Cuenca exportado a Google Earth	115
3.28	Predicción de CINR (dB) de la red WiMAX de Cuenca	116
3.29	Predicción de CINR (dB) de las zonas con valores de CINR menores a 10dB	117
3.30	Predicción de rendimiento (Kbps) de la red WiMAX de Cuenca . .	118
3.31	Ruta recorrida en la ciudad de Cuenca	119
3.32	Controlador del dispositivo USB WiMAX utilizado	120
3.33	Simulación de cobertura RSSI (dBm) y pruebas realizadas en la zona 1	121
3.34	Simulación de CINR (dB) en la zona 1	122
3.35	Cotejo entre simulación de cobertura RSSI (dBm) y las pérdidas encontradas en las pruebas de campo en el centro de Cuenca	123
3.36	Cotejo entre simulación de cobertura CINR (dB) y pruebas realizadas en el centro centro	123
3.37	Simulación de Rendimiento (Kbps) en el centro de Cuenca	124
3.38	Cotejo entre simulación de cobertura RSSI (dBm) y pruebas realiza- das la zona 3	125
3.39	Cotejo entre simulación de cobertura CINR (dB) y pruebas realizadas la zona 3	126
3.40	Simulación de cobertura RSSI (dBm) en la BTS centro	128
3.41	Simulación de cobertura RSSI (dBm) en la BTS Mueblería Vera . .	129
3.42	Simulación de cobertura RSSI (dBm) en la BTS Escuela Allende . .	130
3.43	Simulación de cobertura RSSI (dBm) de las BTSs Centro, Escuela Allende y Mueblería Vera Vasquez	131
3.44	Simulación de cobertura de los sectores de otras BTSs que intervienen en el centro excepto Centro, Escuela Allende y Mueblería Vera Vasquez	131
3.45	Mapa de los usuarios fijos en el centro.	132
3.46	Dirección del haz principal de cada antena de las BTSs del centro. .	133
3.47	Usuarios definidos por el color del sector al que están conectados . .	133
3.48	Ventana MML command del sistema de gestión M2000 de la red WiMAX	137
3.49	Cobertura propuesta de la red WiMAX	145
3.50	Comparación cobertura RSSI entre la red WiMAX medida y propuesta	146

3.51	CINR propuesto de la red WiMAX	147
3.52	Comparación cobertura CINR entre las redes WiMAX medida y propuesta	148
3.53	Simulación de cobertura RSSI de la red propuesta en el Centro . . .	149
3.54	Simulación de interferencia CINR de la red propuesta en el Centro .	150
3.55	Simulación de cobertura RSSI y resultados de las pruebas de campo luego de las modificaciones	151
3.56	Simulación de Cobertura de la BTS Centro con los parámetros propuestos	153
3.57	Simulación de Cobertura de la BTS Escuela Allende con los parámetros propuestos	153
3.58	Simulación de Cobertura de la BTS Mueblería Vera con los parámetros propuestos	154
3.59	Simulación de Cobertura en las tres BTSs Centro, Escuela Allende y Mueblería Vera con los parámetros propuestos	155
3.60	Delimitación de la primera zona de análisis (zona 1) y pérdidas encontradas dentro de esta zona	156
3.61	Porcentajes de pérdidas y mejoras de la red dentro de la zona 1 . .	157
3.62	Comparación entre el número de pérdidas de la red en la zona 1 antes y después de las modificaciones.	157
3.63	Delimitación de la segunda zona de análisis (zona 2) y pérdidas encontradas dentro de esta zona	158
3.64	Porcentajes de pérdidas y mejoras de la red dentro de la zona 2 . .	158
3.65	Comparación entre el número de pérdidas de la red en la zona 2 antes y después de las modificaciones.	159
3.66	Estado de los Usuarios con equipos fijos luego de las modificaciones	160
4.1	Datos técnicos de la antena sectorial de la red WiMAX	173
4.2	BTSs Centro, Escuela Allende y Mueblería Vera Vázquez respectivamente	184
4.3	Solapamiento de la red WiMAX	184
4.4	calle Gaspar Sangurima	185
4.5	calle Antonio Vega Muñoz	186
4.6	calle Tarqui	186
4.7	calle Tarqui y Simón Bolívar	187

Índice de cuadros

2.1	Capa Física WiMAX Fijo OFDM Y móvil OFDMA	44
2.2	Parámetros y valores de OFDMA	44
2.3	Parámetros del modo de Permutación DL PUSC [1]	48
2.4	Parámetros del modo de Permutación de Subportadora FUSC [1]	48
2.5	Codificación y Modulación soportado [20]	53
2.6	Parámetros para el modelo SUI [30]	65
2.7	Parámetros de la Estación Base para redes de banda ancha inalámbrica [11]	71
2.8	Parámetros de la Estación Móvil para redes de banda ancha inalámbrica [11]	71
3.1	BTS WiMAX de la zona urbana de Cuenca	77
3.2	Parámetros de Huawei y medidos de azimuts y tilts	78
3.3	Parámetros generales de cada BTS WiMAX	82
3.4	Parámetros antena tipo panel WiMAX modelo SL12436A	82
3.5	Especificaciones de ingeniería de la BBU3900 [3]	84
3.6	Especificaciones de ingeniería de la RRU3701C [3]	85
3.7	Especificaciones de confiabilidad [3]	85
3.8	Especificaciones para cada modulación	91
3.9	Tráfico para las diferentes modulaciones	92
3.10	Cálculo de las velocidades de descarga (Mbps) dependiendo del número de usuario y la modulación utilizada	92
3.11	Cálculo de usuarios conectados simultáneamente para cada modulación	95
3.12	Cálculo de la distancia (m) a la que llega el lóbulo principal con la mayor potencia dependiendo del ángulo de inclinación o tilt.	96
3.13	Formatos de archivos para ATOLL, ICS TELECOM y RADIO MOBILE [23], [12], [4].	100
3.14	Modelos de propagación soportados para ATOLL, ICS TELECOM y RADIO MOBILE [23], [12], [4].	100
3.15	Predicciones de nivel de señal de cobertura y calidad de señal [23], [12], [4].	101
3.16	Detalle de las calles donde se encontraron pérdidas por Handoff	126
3.17	Detalle de las calles donde se encontraron pérdidas por desconexión	127
3.18	Usuarios Fijos en la BTS Centro	134



3.19	Usuarios Fijos en la BTS Escuela Allende	134
3.20	Usuarios Fijos en la BTS Mueblería Vera Vasquez	135
3.21	Vecindades BTS Escuela Allende sector 0	138
3.22	Vecindades BTS Escuela Allende sector 1	138
3.23	Vecindades BTS Escuela Allende sector 2	139
3.24	Vecindades incorrectas en la BTS Baños	139
3.25	Vecindades incorrectas en la BTS Cámara de Industrias	139
3.26	Listado de vecindades por configurar para WiMAX móvil	141
3.27	Propuesta de azimuts y ángulos de inclinación las antenas sectoriales de la red WiMAX	142
3.28	Detalle de pérdidas por desconexión luego de las modificaciones . . .	152
3.29	Usuarios Fijos en la BTS Centro después de las Modificaciones . . .	161
3.30	Usuarios Fijos en la BTS Escuela Allende después de las Modificaciones	161
3.31	Usuarios Fijos en la BTS Mueblería Vera después de las Modificaciones	161
4.1	Vecindades de la BTS Mirador del Rio	172
4.2	Vecindades configuradas de las BTSs modificadas de la red WiMAX de ETAPA EP	174
4.3	Pruebas de campo de la red WiMAX realizadas en la Ciudad de Cuenca	177

Yo, Fredy Marcelo Calle Calle, autor de la tesis "Estudio técnico para el mejoramiento de la calidad de servicio ofrecido a los usuarios de la red WiMAX de ETAPA EP en la zona urbana de la ciudad de Cuenca", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 04 de abril de 2016



Fredy Marcelo Calle Calle

C.I: 0302168265

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



Yo, Fabián Patricio Guamán Chalco, autor de la tesis “Estudio técnico para el mejoramiento de la calidad de servicio ofrecido a los usuarios de la red WiMAX de ETAPA EP en la zona urbana de la ciudad de Cuenca”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 04 de Abril de 2016

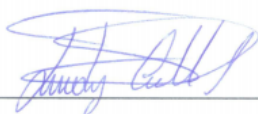
Fabián Patricio Guamán Chalco

C.I: 010540640-9

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

Yo, Fredy Marcelo Calle Calle, autor de la tesis “Estudio técnico para el mejoramiento de la calidad de servicio ofrecido a los usuarios de la red WiMAX de ETAPA EP en la zona urbana de la ciudad de Cuenca”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 04 de abril de 2016



Fredy Marcelo Calle Calle

C.I: 0302168265

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



Yo, Fabián Patricio Guamán Chalco, autor de la tesis “Estudio técnico para el mejoramiento de la calidad de servicio ofrecido a los usuarios de la red WiMAX de ETAPA EP en la zona urbana de la ciudad de Cuenca”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 4 de abril de 2016

Fabián Patricio Guamán Chalco

C.I: 010540640-9

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



Dedicatoria

A mi padre Rubén Darío, por la confianza, los consejos y el apoyo que me ha brindado siempre.

A Luis Alberto, abuelo y amigo quien fue mi guía en la toma de grandes decisiones y aunque ya no está para compartir esta alegría, sus consejos y enseñanzas perdurarán por siempre.

De manera muy especial a mi madre Narcisa de Jesús que siempre estuvo a mi lado para educarme y enseñarme el camino correcto, de quien aprendí a luchar contra las adversidades y a quien debo todo lo que soy.

Fredy Marcelo

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

Dedicatoria

A mis padres Patricio y Rosa, por su amor, sacrificio y apoyo incondicional desde el inicio de esta carrera hasta la etapa final del presente proyecto. A mis hermanas, Paola y Verónica por compartir momentos de alegría, complicidad y apoyarme en cada momento.

Fabián





Agradecimientos

A la vida por todas las lecciones que me han hecho fuerte y han moldeado mi personalidad.

A mis padres que han sido la base de mi formación y por apoyarme incondicionalmente desde mis primeros pasos durante todos estos años.

A mis hermanas por las alegrías y las tristezas compartidas, quienes han sido mi ejemplo a seguir y que han estado para acompañarme siempre.

A la ingeniera Sofía Arévalo, nuestra directora de tesis y maestra, quien con sus conocimientos, apoyo y paciencia nos ha guiado en todas las etapas de desarrollo de este proyecto.

A los ingenieros Pablo Suarez y Alex López del departamento de Comunicaciones Inalámbricas de ETAPA EP, por compartir sus conocimientos y por todo el apoyo técnico en el desarrollo de esta tesis.

A Don Nestor Ramón, técnico del departamento de Comunicaciones Inalámbricas de ETAPA EP, quien nos brindó su amistad, sus conocimientos y su apoyo en una parte fundamental del desarrollo de esta tesis.

Al ingeniero Edgar Ochoa, maestro de la universidad y coordinador Zonal 6 de ARCOTEL, por autorizar el uso del programa de simulación ICS TELECOM que fue fundamental en la realización de este proyecto.

Al ingeniero Marcelo López funcionario de ARCOTEL, que con sus conocimientos fue nuestro guía en el uso del ICS TELECOM y permitió todas las facilidades para llevar a cabo la culminación de esta tesis.

Finalmente, a la Facultad de Ingeniería por todos los conocimientos que he adquirido durante estos años y que me permitirán cumplir mis metas a futuro.

Fredy Marcelo

Agradecimientos

A Dios por regalarme la vida, provisión y fuerza para afrontar adversidades para lograr concluir esta carrera.

A toda mi familia por estar siempre en momentos de alegría y complicidad, por haberme apoyado en lo que necesite.

A la ingeniera Sofía Arévalo, nuestra directora, por su apoyo y dedicación para guiar el presente proyecto.

A los ingenieros Pablo Suarez y Alex López del departamento de Comunicaciones Inalámbricas de ETAPA EP por habernos compartido sus conocimientos, y brindarnos todo el apoyo técnico durante el desarrollo de este trabajo.

A Don Nestor Ramón, técnico del departamento de Comunicaciones Inalámbricas de ETAPA EP, quien nos brindó su amistad, sus conocimientos y su apoyo en las mediciones de las antenas.

Al ingeniero Edgar Ochoa, maestro de la universidad y coordinador Zonal 6 de ARCOTEL, por autorizar el uso del programa de simulación ICS TELECOM que fue fundamental en la realización de este proyecto.

Al ingeniero Marcelo López funcionario de la ARCOTEL, que con sus conocimientos fue nuestro guía en el uso de ICS TELECOM y permitió todas las facilidades para llevar a cabo la culminación de esta tesis.

A mis amigos, profesores y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

Fabián

Lista de Acrónimos

- *AAA: Authentication, Authorization, Accounting.*
- *ACK: Acknowledgement.*
- *AMC: Adaptive Modulation and Coding.*
- *ARCOTEL: Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.*
- *ARQ: Automatic Retransmission Request.*
- *ASN: Access Service Network.*
- *ASP: Application Service Provider.*
- *BER: Bit Error Rate.*
- *BTS: Base Transceiver Station.*
- *CINR: Carrier to Interference+Noise Ratio.*
- *CSN: Connectivity Service Network.*
- *FDD: frequency división duplexing.*
- *FEC: Forward Error Correction.*
- *FER: Frame Error Rate.*
- *FFT: Fast Fourier Transform.*
- *IFFT: Inverse fast Fourier transform.*
- *IRF: Interference Rejection Factors.*
- *ISI: Intersymbol Interference.*
- *MIMO: Multiple-input Multiple-output.*
- *MSDU: Unidad de Servicio de Datos MAC*
- *MTBF: Mean Time Between Failures.*
- *MTTR: Mean Time To Repair.*
- *NLOS: No line of sight.*

- *OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing.*
- *OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access.*
- *PDU: Protocol Data Unit.*
- *PHS: Payload Header Suppression*
- *PHSI: Payload Header Suppression Index*
- *PSTN: Public Switched Telephone Network.*
- *PUSC: Partial Usage of Sub-Channels.*
- *QoS: Quality of Service.*
- *RSSI: Received Signal Strength Indication.*
- *TDD: time división duplexing.*
- *TDMA: Time Division Multiple Access.*
- *WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access.*
- *WMAN: Wireless Metropolitan Area Network.*

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

Introducción

1.1 Antecedentes

En los últimos años el acceso a Internet en el mundo, principalmente en Ecuador se ha incrementado de manera exponencial debido a la alta demanda de usuarios. Considerando la creciente demanda de servicios de banda ancha existente en el cantón Cuenca, tanto a nivel residencial como en el sector comercial, por esa razón se ha desarrollado nuevas alternativas de acceso de última milla diferentes al tradicional par de cobre. Al hablar de ancho de banda implica el soporte de aplicaciones de VoIp, IpTV, video en tiempo real. La alternativa al par de cobre son las tecnologías inalámbricas que una de sus ventajas es su facilidad de despliegue en zonas metropolitanas, rurales y de difícil acceso, además cambios en cuanto a capacidad de las redes y los costos bajos. [30]

Banda ancha inalámbrica contiene varias tecnologías mediante el cual es posible la comunicación a alta velocidad como son Wi-Fi (Wireless Fidelity), WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), LTE (Long Term Evolution), el uso de cada tecnología depende de los escenarios como por ejemplo WiMAX opera en zonas donde el cable no llega y se usa en laptops tablets, mientras que LTE su principal uso es para telefonía celular, también puede ser usado en PDAs (personal digital assistant) o tablets.

Existen dos tipos de servicios de banda ancha inalámbrica que son la banda ancha inalámbrica fija que puede ser una alternativa a DSL (Digital Subscriber Line) y la banda ancha inalámbrica móvil que ofrece funcionalidades como portabilidad, nomadicidad, movilidad. WiMAX descrita a través del estándar IEEE 802.16 está implementada en la ciudad de Cuenca se analizará en el presente proyecto.

1.2 Objetivo General

- Realizar un estudio técnico para mejorar la calidad de servicio ofrecido a los usuarios de la red WiMAX de ETAPA EP en la zona urbana de la ciudad de Cuenca.



1.3 Objetivos Específicos

- Simular y comprobar mediante pruebas la calidad de servicio de la red WiMAX de la empresa ETAPA EP en la zona urbana de Cuenca.
- Identificar las radio bases existentes que se encuentran saturadas por la cantidad de usuarios, o donde la calidad de la señal es débil debido a las edificaciones existentes (Efecto Sombra).
- Ajustar los parámetros necesarios para mejorar la cobertura de las radio bases y optimizar las comunicaciones, a nivel de simulación y pruebas reales.

1.4 Revisión Bibliográfica

Para el presente proyecto la bibliografía que se usó fueron libros digitales, documentos IEEE relacionados con el estándar 802.16, WiMAX Forum que es la organización promotora de la tecnología WiMAX (equivalente al competidor en Europa HIPERMAN), que se basa en el estándar IEEE 802.16x para las redes de área metropolitana inalámbricas (MAN), Este foro promueve esta tecnología, además se encarga la introducción de sistemas acceso inalámbrico de banda ancha en el mercado de las telecomunicaciones y de asegurar la interoperabilidad de los productos de diferentes fabricantes como Aperto Networks, Alcatel, Alvarion, Fujitsu, Intel, Navini, Nokia, Siemens, SR Telecom, WiLAN, etc.

1.5 Contribución de la tesis

Al finalizar este proyecto de tesis se contará con una guía en cuanto a mejoramiento de calidad de servicio de internet de los usuarios de la red WiMAX, lo cual servirá para el planteamiento de futuros proyectos relacionados con la red. Este trabajo también servirá de guía para estudiantes de Ingeniería de Telecomunicaciones que deseen realizar trabajos o investigación relacionados con el tema. La empresa ETAPA EP podrá utilizar los resultados obtenidos luego de realizar las pruebas de mejoramiento, con los cuales podrá ampliarlos para todas las radio bases existentes y podrá aplicarlos a nuevas radio bases que desee incorporar a la red. Al tener datos reales y actualizados, se ahorraría mucho tiempo en planificación y diseño.

Por medio de la simulación se encontraran las zonas donde no hay conexión a internet y mediante las pruebas de campo se logrará comprobar las predicciones del simulador. Con la simulación se podrá determinar cuáles son los parámetros de las antenas que permiten mejorar la calidad de servicio y de igual forma cuales deben permanecer sin modificaciones.

Si se consiguen resultados positivos la empresa podrá incrementar el número de suscriptores de la red utilizando la misma infraestructura, caso contrario deberá analizar la factibilidad para sumar nuevas estaciones e incrementar la cobertura. Finalmente, los usuarios de la red WiMAX serán los más beneficiados puesto que se realizará todo un estudio técnico para mejorar la calidad de servicio actual.

1.6 Actividades realizadas

- Generar un documento en el cual se indicará las recomendaciones, las configuraciones de las antenas y las estaciones base para mejorar la calidad de servicio de Internet en los usuarios de la red WiMAX.
- Realizar una revisión bibliográfica de las recomendaciones indicadas por el estándar IEEE 802.16x del cual se partirá para realizar las modificaciones de la red WiMAX.
- Buscar las posibles alternativas en software de simulación, y seleccionar la herramienta que brinde los resultados más cercanos a la realidad.
- Realizar la simulación de las estaciones base existentes en la zona urbana de la ciudad de Cuenca para poder identificar el estado actual de la red en cuanto a calidad de servicio. Para realizar esta simulación se contará con el mapa de altimetría actualizado de la ciudad de Cuenca.
- Identificar los parámetros que necesitarían ser modificados en la red actual para mejorar las prestaciones de la red.
- Realizar los cálculos necesarios en cuanto a handoff, throughput, potencias, azimut, ángulos de inclinación, y demás parámetros necesarios para la propagación de las señales.
- Realizar modificaciones reales y tangibles en un grupo de estaciones base con lo cual se podrá evaluar si se ha mejorado la calidad del servicio.
- Evaluar los resultados obtenidos y compararlos con los resultados iniciales. Determinar en cuanto se ha mejorado la red y como se podría mejorar en el resto de estaciones.

Estándar IEEE 802.16 WiMAX

2.1 Introducción a WiMAX

WiMAX fue creada en 2001 como una organización sin fines de lucro, llamada WiMAX fórum, una agrupación análoga a Wi-Fi Alliance. Su función se basa en establecer un proceso de certificación viable en términos de coste y tiempo, crear una serie de especificaciones técnicas y, en general certificar la compatibilidad de distintos dispositivos basados en el estándar IEEE 802.16/ETSI HyperMAN, más conocida como WiMAX.

WiMAX es una tecnología desarrollada para proporcionar cobertura a redes tipo WMAN (Wireless Metropolitan Area Network - Redes Inalámbricas de Área Metropolitana), de esta forma se proporciona una mayor cobertura que la proporcionada por una red Wi-Fi, como ejemplo se puede conectar dos empresas en un área metropolitana o dar servicio a todo un campus universitario. Teóricamente la cobertura de esta tecnología alcanza los 50 KM, sin embargo, en la práctica y con un entorno NLOS alcanza los 10 KM., y es capaz de alcanzar velocidades de hasta 75 Mbps. Proporciona grandes ventajas de movilidad, flexibilidad, facilidad de instalación, reducción de costos y escalabilidad entre otros. Estas características permiten extender la cobertura de los sistemas inalámbricos, pudiendo por ejemplo llevar acceso a áreas con baja densidad poblacional como las zonas rurales marginadas por factores económicos. WiMAX puede integrarse con otro tipo de tecnologías como la comunicación de voz basada en el protocolo de internet o IP y algunas de sus normas se han diseñado para poder dar servicio a usuarios en movimiento, teniendo de esta manera un nuevo concepto de movilidad. Integra la familia de estándares 802.16 y el estándar HyperMAN del organismo de estandarización europeo ETSI. Está diseñada para la subcapa MAC, dentro de la capa de enlace de datos, del protocolo OSI y con soporte de múltiples especificaciones para la capa física

2.2 Características principales de WiMAX.

WiMAX es una solución de banda ancha inalámbrica que ofrece un gran conjunto de características con alta flexibilidad en términos de opciones de despliegue y

potenciales ofertas de servicio. Algunas de sus características más sobresalientes son las siguientes.

- *Capa física basado en OFDM*

La capa física de WiMAX se basa en la multiplexación ortogonal por división de frecuencia, un esquema que ofrece soluciones frente a la propagación en múltiples trayectorias, y además permite operar en condiciones NLOS. OFDM es ampliamente conocido como el método para la mitigación de múltiples trayectos en la propagación inalámbrica de banda ancha.

- *Altas velocidades de picos de datos*

WiMAX es capaz de soportar muy altas velocidades de datos. La velocidad máxima de datos que puede soportar la capa física es de 74 Mbps cuando se opera utilizando 20 Mhz de espectro amplio. Mas típicamente, utilizando 10 Mhz de espectro bajo el esquema TDD con una relación de 3:1 en el enlace de bajada a subida, la velocidad de datos pico es de aproximadamente 25 Mbps y 6.7 Mbps para el enlace bajada y subida respectivamente. Estas velocidades de datos pico son alcanzados cuando se utiliza una modulación de 64 QAM con una tasas de 5/6 de corrección de errores de codificación. En muy buenas condiciones de señal, se pueden alcanzar picos mas altos de velocidad utilizando múltiples antenas y multiplexado especial.

- *Soporte de tasa de datos y ancho de banda escalable*

WiMAX tiene una requitectura de capa física escalable que permite a las velocidades de datos escalar fácilmente con un ancho de banda de canal disponible. La capacidad de escalabilidad se soporta en el modo OFDM, donde el tamaño de la FFT (transformada rápida de fourier) puede ser escalada basado en el ancho de banda de canal disponible. Este escalamiento se puede hacer de forma dinámica para apoyar la itinerancia de usuario móvil a través de diferentes redes que pueden tener diferentes asignaciones de ancho de banda.

- *Modulación y codificación adaptativa (AMC)*

WiMAX soporta un número de modulación y corrección de errores de recepción, y permite a los esquemas de codificación ser cambiados por el usuario o por una trama base, basado en las condiciones de canal. AMC es un mecanismo efectivo para maximizar el tráfico de datos en un canal variable en el tiempo. El algoritmo de adaptación llama típicamente para el uso de la mas alta modulación y esquema de codificación que puede ser soportada por la señal a ruido y la relación de interferencia en el receptor

de tal manera que cada usuario está provisto con la mas alta tasa de datos posible que puede ser de apoyo en sus respectivos enlaces.

- *Retransmisión en la capa de enlace*

Para conexiones que requieren mejorar la confiabilidad, WiMAX apoya las solicitudes de retransmisión automática (ARQ) en la capa de enlace. Las conexiones de ARQ habilitada requiere que cada paquete transmitido sea conocido por el receptor; los paquetes que no son reconocidos se asumen como perdidos y son retransmitidos.

- *Soporte para TDD y FDD*

Los estándares IEEE 802.16-2004 y IEEE 802.16-2005 soporta tanto duplexación por división de tiempo (TDD) y duplexación por división de frecuencia (FDD), así como un medio-dúplex FDD, que permite la implementación del sistema de bajo costo. TDD es utilizada en al mayoría de implementaciones debido a sus ventajas: (1) la flexibilidad en la elección de la tasa de datos en el enlace de subida y bajada, (2) la habilidad de explotar la reciprocidad del canal, (3) la capacidad para implementar espectros no pareados, y (4) diseño de tranceptor menos complejo. Todos los perfiles iniciales WiMAX se basan en TDD, excepto por dos perfiles WiMAX en 3.5 Ghz.

- *Acceso por múltiple división de frecuencia ortogonal (OFDMA)*

WiMAX móvil utiliza OFDM como una técnica de acceso múltiple, por el cual diferentes usuarios pueden ser asignados a diferentes subconjuntos de OFDM. OFDMA facilita la explotación de una diversidad de frecuencias y la diversidad de multiusuario para mejorar de manera significativa la capacidad del sistema.

- *Asignación flexible y dinámica de recursos por cada usuario*

Tanto en enlace de bajada como enlace de subida, la asignación de recursos es controlado por un planificador en la estación base. La capacidad es compartida entre múltiples usuarios en función de la demanda, utilizando la explotación de un esquema TDM. Cuando se utiliza el modo de la capa física OFDMA, la multiplexación es adicional mente realizada en el dimensionamiento de la frecuencia, mediante la asignación de diferentes subconjuntos de subportadoras OFDM a diferentes usuarios. Los recursos pueden ser asignados en el dominio espacial cuando se utilizan sistemas opcionales de antenas avanzadas. La norma permite a los recursos de ancho de banda ser asignados en el tiempo, frecuencia, y espacio y tiene un mecanismo

flexible para transmitir la información de asignación de recursos sobre una base de trama a trama.

- *Soporte para técnicas avanzadas de antenas*

La solución WiMAX tiene características incorporados en el diseño de la capa física, por lo cual permite el uso múltiples técnicas de antenas, como la formación del haz, la codificación espacio-tiempo, y multiplexación espacial. Estos esquemas pueden ser utilizados para mejorar la capacidad general del sistema y la eficiencia espectral mediante el despliegue de múltiples antenas en el transmisor y / o receptor.

- *Soporte para calidad de servicio*

La capa MAC de WiMAX tiene una arquitectura orientada a la conexión que está diseñada para soportar una variedad de aplicaciones, incluyendo voz y servicios multimedia. El sistema ofrece soporte para una tasa de bits constante, una tasa de bits variable, flujo de tráfico de tiempo real y tráfico de tiempo no real, en adición al tráfico de datos del mejor esfuerzo. La capa MAC de WiMAX está diseñado para soportar un gran número de usuarios, con múltiples conexiones por terminal, cada uno con su propio requerimiento de calidad de servicio.

- *Alta Seguridad*

WiMAX soporta una fuerte encriptación de los datos, utilizando un estándar de encriptación avanzado, y tiene un protocolo de privacidad y gestión de claves robustas. El sistema también ofrece una arquitectura de autenticación muy flexible basado en el protocolo de autenticación extensible, lo que permite una variedad de credenciales de usuario, incluyendo nombre de usuario y contraseña, certificados digitales y tarjetas inteligentes.

- *Soporte para movilidad*

La variante del sistema de WiMAX movil tiene mecanismos para dar soporte a trasposos seguros de handovers para aplicaciones de movilidad completa y retardos tolerantes, tales como VoIP. El sistema también ha incorporado el soporte para mecanismos de ahorro de energía que extiende la duración de la batería de los dispositivos de los usuarios móviles. Las mejoras de la capa física, como estimación de canal más frecuentes, subcanalización de enlace de subida, y control de potencia, también son especificados en el soporte para aplicaciones móviles.

- *Arquitectura basada en IP*

El fórum WiMAX ha definido una arquitectura de red de referencia que

se basa en una plataforma de todo IP. Todos los servicios de extremo a extremo se entregan a través de una arquitectura IP confiando en protocolos basados en IP para el transporte de extremo a extremo, calidad de servicio, gestión de sesiones, la seguridad y la movilidad. La confianza en IP permite a WiMAX tratar con las curvas de costo de procesamiento IP, facilita la fácil convergencia con otras redes, y explotar grandes ecosistemas para aplicaciones de desarrollo que existen para IP.

2.3 Arquitectura del estándar WiMAX.

La arquitectura WiMAX móvil de extremo a extremo de la red se basa en un protocolo de Internet (IP) es decir una tecnología de paquetes, y no como la tecnología de telefonía convencional que utiliza circuitos conmutados. La arquitectura IP ofrece a los operadores de red una gran flexibilidad al seleccionar soluciones que funcionan con redes tradicionales o que utilizan las tecnologías más avanzadas. IP permite la modularidad y flexibilidad para dar cabida a una amplia gama de opciones de implementación, como a pequeña escala a gran escala, urbano, suburbano y rural. WiMAX móvil añade tanto la movilidad y múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), la arquitectura de la red WiMAX móvil tiene componentes que son los siguientes: - Red de Servicio de Acceso. - Capa MAC de WiMAX. - Capa Física.

2.3.1 Red de Servicio de Acceso

La red WiMAX soporta las siguientes funciones principales:

- Soporta el acceso fijo, móvil y nómada.
- Interoperabilidad con las redes existentes a través de las funciones de inter-networking.
- Interfaces abiertas entre ASN (Servicio de Acceso a la red) y el CSN (Servicio de conectividad a la Red).
- Soporte para la calidad diferencial de servicio (QoS) dependiendo de la aplicación.
- Separación de redes de acceso, núcleo y de servicios de aplicación.

La red de acceso de WiMAX proporciona la interfaz entre el usuario y la red de servicio de núcleo, según el foro de WiMAX debe cumplir con lo siguiente:

- Handover: Es el traspaso de servicio de una estación base a otra
- AAA (Authentication, authorization, and accounting).

- Gestión de recursos de radio.
- Interoperabilidad con otros ASN.
- Funcionalidad de retransmisión entre CSN y la estación móvil (MS).

En la Figura 2.1, se presenta la arquitectura general de la red de una red WiMAX. Está conformado por los terminales de usuario, ACN, y CSN. Los terminales de usuario son los envían y reciben datos, puede ser fijo, móvil, nómada esto depende de la tecnología WiMAX y pueden ser soportados mediante una interfaz de aire común. ASN se extiende por la BS (*Base Station – Estación Base*) y la ASN-GW (Servicio de Acceso a la red puerta de Enlace). La BS recibe la señal transmitida, procesa y convierte en un paquete IP y lo envía a la puerta de enlace de transporte IP saliente. Otra puerta de enlace recibe y sobre el procesamiento determina el destino en la red y envía el paquete. BS y GW (Gateway - Puerta de Enlace) están conectados entre sí mediante un transporte IP.

- *La Red de Servicios de Conectividad (CSN):*

Es la que se encarga de establecer conectividad con internet. Los elementos de CSN son los siguientes:

- Servidor AAA: Se encarga de que un usuario se identifique y autentique como cliente.
- Servidor DHCP: Asigna direcciones IP públicas para los clientes que se identifican.
- MIP HA (mobile IP home agent – Móvil IP agente local) : Asegura la intinerancia a través de redes IP sea manejada y garantiza el enrutamiento de paquetes.
- Sistema de Soporte de Facturación: Ayudan a la gestión de la Red en general.
- Sistema de Soporte de Operaciones
- Servicios IMS (Multimedia)
- Servicios de Contenido.

- *Estación Base (BS):*

La BS es la que proporciona la interfaz entre el usuario móvil y la red WiMAX. El radio de cobertura de una BS típica en las zonas urbanas es de alrededor de 500-900m, mientras que en zonas rurales pueden ser de 10Km si hay línea de vista. Además, es la responsable de realizar el traspaso de sectores (handover), clasificación de tráfico, administración de los recursos de radio. El despliegue de varias estaciones base depende ya sea por el ancho

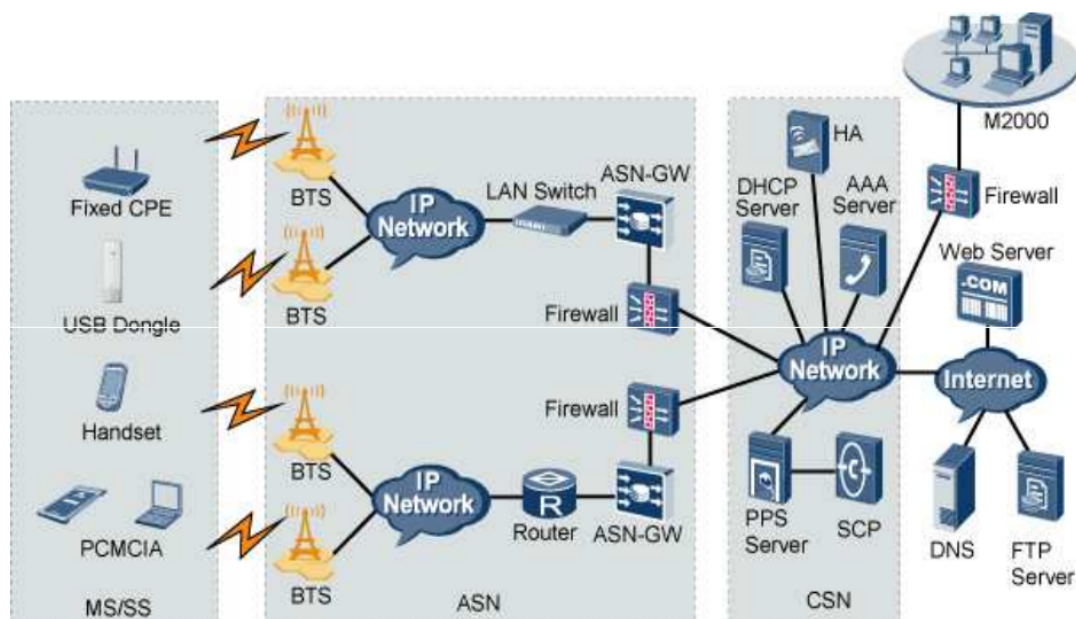


Figura 2.1: Arquitectura Red WiMAX [30]

de banda necesario para satisfacer la demanda de usuarios, o por el área de cobertura geográfica que se desea cubrir.

- *Gateway ASN:*

Es la que realiza funciones de conexión, gestión de movilidad y los límites de proveedor de red de servicios a través del procesamiento de control de abonado y el portador de tráfico de datos. También sirve como un protocolo de autenticación extensible (EAP) autenticador de identidad del suscriptor [10], también es responsable del enrutamiento hacia la red de servicios de conectividad, la ejecución de las políticas de calidad de servicio.

- *Servicios centrales de red:*

Es el transporte, la autenticación y la parte de conmutación de la red, consiste en el agente local (HA), el sistema de la AAA, los servidores IP y las puertas de acceso a otras redes, es decir, red telefónica pública conmutada (PSTN) y 3G. WiMAX tiene cinco principales interfaces abiertas, que incluyen puntos de referencia (R1, R2, R3, R4, R5). La interfaz R1 interconecta el abonado a la BS en la ASN y es la interfaz de aire definida en la capa física y la subcapa medio de control de acceso (MAC). El R2 es la interfaz lógica entre el abonado móvil y el CSN. Se asocia con la autorización, gestión de configuración de IP del host, gestión de servicios y movilidad. El R3 es la interfaz entre la ASN y CSN, apoya AAA, aplicación de políticas

y capacidades de gestión de movilidad. El R4 es una interfaz entre dos ASN. Se trata principalmente de la coordinación de la movilidad de las MS entre diferentes ASN. El R5 es una interfaz entre dos CSNs y se ocupa de interconexión entre dos CSN [20]. En la Figura 2.2 Se puede observar la interconexión de redes WiMAX.

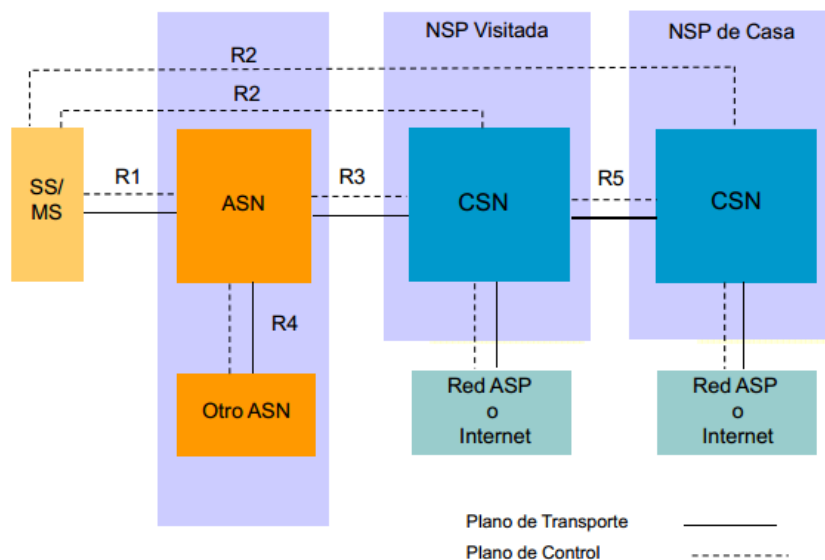


Figura 2.2: Modelo de Referencia de la Red WiMAX [20]

2.3.2 Capa MAC de WiMAX

La función de esta capa es establecer una interfaz entre las capas superiores y la capa Física (PHY) para el control del medio inalámbrico, la capa MAC en la BS es la responsable de asignar ancho de banda a los usuarios tanto para los enlaces de subida como de bajada, también es responsable de optimizar energía en dispositivos portátiles. Al diseñar la capa MAC en WiMAX se consideró demandas de ancho de banda de varios usuarios conectados simultáneamente, y el envío de datos en ambas direcciones (full dúplex), según [1] está compuesta de tres componentes principales, como también se observa en la Figura 2.3. Estos componentes son los siguientes:

- La Subcapa de Convergencia (CS):
- la Subcapa de Parte Común (CPS).
- La subcapa de Seguridad.

En la Figura 2.3 se puede observar cómo se relaciona la capa MAC con la capa Física de WiMAX.

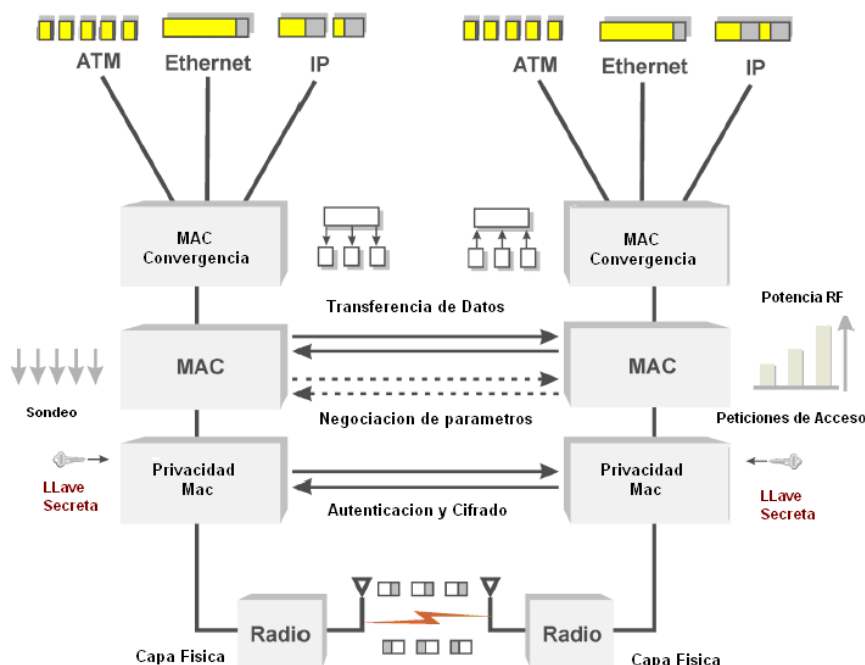


Figura 2.3: Capa MAC y Capa Física de WiMAX [23]

2.3.2.1 La Subcapa de Convergencia

Los datos son recibidos mediante un punto de acceso al servicio de Subcapa de convergencia (CS SAP), esta subcapa de convergencia realiza una transformación de los datos de la red externa. Las principales funciones de esta subcapa son:

- Aceptar las Unidades de datos de protocolo (PDUs) provenientes de las capas superiores, se consideran dos tipos de capas superiores, una CS para modo de transferencia asíncrono (ATM) y la otra CS para paquetes IPv4 o IPv6.
- Clasifica MSDU (Unidad de servicio de datos MAC), para administración de calidad de servicio, puede establecer diferentes parámetros para cada conexión por separado, incluyendo la velocidad, la latencia, además clasifica los PDU y los asocia mediante un identificador de conexión (CID), un CID de 16 bits es asignado cuando un dispositivo ha establecido una conexión con el sistema. Cada equipo WiMAX posee varios CID's de 16 bits que son

usados para identificar y clasificar el tráfico, se usan como máximo 65535 CID's. Un CID puede ser compartido por varios servicios, al usar servicios implica usar canales lógicos y cada uno de estos canales es un flujo de servicio apropiado (SFID).

- Si es que es necesario procesa las PDU's de capas superiores en base a su clasificación.
- Entregar las CS PDU's en el MAC SAP adecuado y recibir las PDU's iguales.
- Eliminar las partes que son repetidas de los encabezados de carga útil y restaurarlos a esto se le llama supresión de cabecera de carga útil (PHS), además comparten el mismo CID pueden ser encapsuladas y transportadas por un solo PDU CPS.

Hay dos especificaciones CS, la primera especificación CS es el ATM CS que se define como una interfaz lógica que asocia diferentes servicios ATM con el SAP MAC CPS. La ATM CS acepta células ATM de la capa ATM, realiza la clasificación y realiza PHS (*Payload Header Suppression* - *supresión de cabecera de carga útil*). Entonces el CS ATM proporciona PDU CS al SAP MAC apropiado. Y el segundo es el Packet CS (Subcapa de convergencia para paquetes). El formato de un PDU SC ATM está conformado por una cabecera y una carga útil o payload, ésta debe ser igual a la carga útil de una trama ATM. En la Figura 2.4 se muestra el PDU CS ATM



Figura 2.4: Formato de PDU CS ATM [22]

Formato SDU Las PDU son clasificadas y asociadas a una conexión MAC con las capas superiores estas son encapsuladas en SDU MAC y aparece un nuevo componente de para la encapsulación llamado PHSI (Payload Header Suppression Index – Indicador supresión de cabecera de carga útil) y contiene 8 bits, en la Figura 2.5 se muestra el formato SDU MAC.

2.3.2.2 La Subcapa de Parte Común (CPS).

Esta capa es el núcleo de la capa MAC y cumple con las siguientes funciones:

- La asignación de ancho de banda.

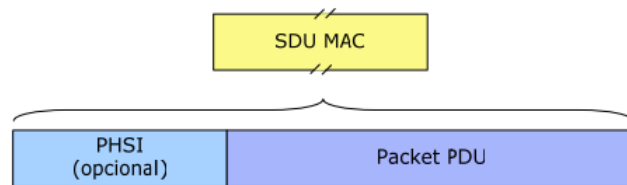


Figura 2.5: Formato SDU MAC [22]

- Acceso al sistema
- Establecer la conexión.
- Mantener de la conexión entre la estación base y la estación subscriptora o móvil.

Además de estas funciones esta subcapa es responsable de la fragmentación, al hablar de fragmentación implica segmentar y encapsular un MAC SDU en varios MAC PDU, con esto se logra un uso eficiente de ancho de banda, otra función es la concatenación de los SDU a la capa MAC PDU. MAC PDU es la unidad básica de comunicación entre las capas MAC tanto de la BS y SS. Los paquetes MAC SDU son encapsulados en MAC PDU nuevamente con una cabecera de 6 bytes fija, luego con una carga útil que es opcional, longitud variable y contiene varios SDUs o fragmentos de SDUs, y por último es la cabecera conformada por CRC (Verificación por redundancia cíclica) que sirve detectar cambios de datos. En la Figura 2.6 muestra el formato MAC PDU.

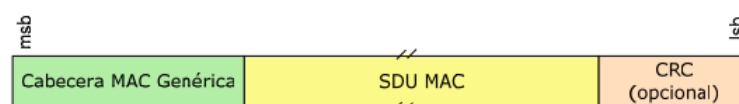


Figura 2.6: Formato MAC PDU [22]

Otra función importante es el control de Calidad de Servicio, esto implica considerar cinco tipos de servicios.

- **Concesión no solicitada(UGS).**- Es usada en servicios en tiempo real, donde hay paquetes de tamaño fijo en tiempos constantes, por ejemplo VoIP. Con esto se evita el envío de solicitudes de ancho de banda por parte de las SSs. La BS es la responsable de asignar el ancho de banda dependiendo de la tasa de tráfico, los parámetros a considerar de este servicio son la latencia máxima, tasa de tráfico sostenida, el jitter tolerado.

- **Servicio de Sondeo en tiempo real (RTP).**- Es adecuado para aplicaciones en tiempo real que producen los paquetes de datos de tamaño variable en forma periódica. BS proporciona a los SSs la posibilidad de emitir solicitudes de ancho de banda (BRS) de forma periódica por medio de un mecanismo de sondeo.
- **Polling en tiempo real(rtPS).**- Es usada en servicios en tiempo real, donde hay paquetes de tamaño variable, por ejemplo, video MPEG streaming de audio. La BS puede asegurar a rtPS un ancho de banda por defecto (que corresponde a la tasa máxima de tráfico) y dinámicamente proporcionar recursos adicionales.
- **Polling en tiempo no real (nrtPS).**- Es usada en servicios que no son en tiempo real, donde hay paquetes de tamaño variable, por ejemplo, FTP (File transport protocol) esto implica que se necesita un gran ancho de banda.
- **Mejor esfuerzo(BE).**- Es usado cuando una SS usa cualquier oportunidad de transmitir una solicitud de ancho de banda, es decir no da prioridad para un servicio de transporte de datos eficiente. Los parámetros que se consideran son la tasa máxima de tráfico sostenida (SCR), la prioridad de tráfico.

2.3.2.3 La Subcapa de Seguridad

Esta capa se encarga de la autenticación, encriptación e intercambio de claves y cifrado entre la BS y la SS, además es responsable de identificar a los usuarios y mantener la información segura, además garantiza a los operadores de la red protección contra conexiones no autorizadas. Otra función es el intercambio de MAC PDU con la capa física.

2.3.3 Capa Física

La capa física de WiMAX establece la conexión física entre dos puntos, tanto enlace de subida y de bajada (uplink and downlink). Además, establece el tipo de modulación que usará para transmitir las secuencias de bits y la potencia de transmisión. Para WiMAX Forum la capa física está basada en OFDMA para WiMAX móvil y FDMA para WiMAX fijo, también cabe mencionar [20] las especificaciones originales del estándar WirelessMAC SC que usa una portadora única en el rango de frecuencias de 10 a 66 GHz y fue diseñada para condiciones de línea de vista (LOS). Otra especificación es WirelessMAC SCa que fue diseñada

para frecuencias menores a 11GHz, y soporta condiciones sin línea de vista (NLOS), es ideal para una topología de red punto multipunto.

3.3.3.1 OFDM y OFDMA

Primero nos enfocaremos en un sistema FDM en el cual múltiples señales transmisores se transmiten simultáneamente usando múltiples frecuencias. Cada rango de frecuencias llamadas subportadoras es modulada por separado por los distintos flujos de datos y un espaciamiento (banda de guardia). En un sistema OFDM (Octogonal Frequency division Multiplexing – Acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales) una alta tasa de flujo de datos se divide en múltiples tasas bajas de flujos de datos. Cada menor flujo de datos es asignado a los datos individuales sub-portadora y modulada a través de algunos tipos de PSK (Phase Shift Keying) o QAM (modulación de amplitud de cuadratura). es decir, BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

OFDM necesita menos ancho de banda que FDM para transportar la misma cantidad de información lo que se traduce en mayor eficiencia espectral. Puede superar las interferencias y desvanecimiento causado por múltiples frecuencias porque la igualación se hace en un subconjunto de sub-portadoras aéreas en lugar de una sola portadora. El efecto del ISI (Inter Symbol Interference) se suprime debido a un período más largo de símbolos paralelos OFDM, sub-portadoras de un único sistema de soporte y el uso de un prefijo cíclico (CP). OFDM se utiliza para muchas aplicaciones utilizadas, incluida la televisión digital en Alemania, Australia, Japón y Europa; radiodifusión sonora digital en Europa; Línea de abonado digital asíncrona (ADSL), módems y las redes inalámbricas en todo el mundo (IEEE 802.11a/g) . En WiMAX Forum ha establecido que inicialmente OFDM-256 serán utilizados para el servicio fijo para el estándar 802.16d (2004). Se hace referencia que usa OFDM con 256 FFT, lo que significa que hay 256 sub-portadoras disponibles para su uso en un solo canal.

Una señal OFDM en forma compleja se puede expresar de la siguiente manera:

$$S(t) = \sum_{i=-N/2}^{N/2-1} d_i * e^{-2*\pi*j*(f_c+i/T)*t} \quad (2.1)$$

Donde: f_c es la frecuencia central.

T es el periodo de símbolo.

d_i Amplitud y fase de la información.

$S(t)$ es la señal OFDM en el dominio del tiempo. En el dominio de la frecuencia OFDM es espectralmente eficiente, donde las subportadoras son seleccionadas de tal manera que todas ellas son ortogonales entre sí sobre la duración de símbolo, evitando así la necesidad de disponer de canales de subportadora que no se superponen para eliminar la interferencia interportadora. La señal OFDM es equivalente a la transformada discreta inversa de Fourier (IFFT) del bloque de secuencia de datos tomada del número de subportadoras a la vez. Esto hace que sea muy fácil de poner en práctica los transmisores y receptores OFDM en tiempo discreto usando IFFT (Transformada inversa rápida de Fourier) y FFT (Transformada rápida de Fourier), respectivamente. En la Figura 2.7 se muestra el caso de ortogonalidad en frecuencia, esto implica la reducción del ancho de banda requerido.

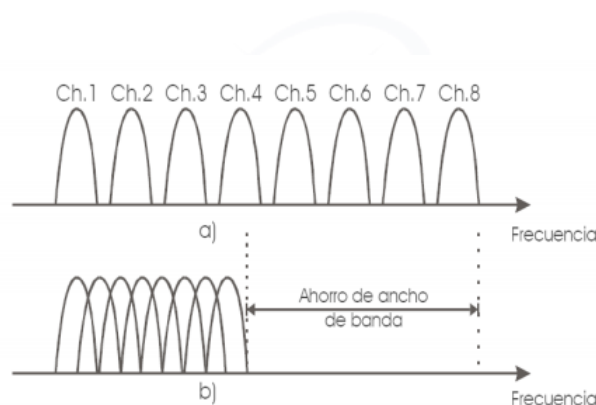


Figura 2.7: a) Técnica Multiportadora convencional, b) Modulación con portadoras [29]

Con el fin de eliminar la interferencia, se utilizan intervalos de guarda entre símbolos OFDM. Al hacer que el intervalo de guarda más grande que la propagación de retardos multitrayectoria se espera que la interferencia sea eliminada. Al añadir un intervalo de guarda implica el desperdicio de energía y una disminución en la eficiencia de ancho de banda. La cantidad de energía desperdiciada depende del tamaño de una fracción de la duración del símbolo OFDM el tiempo de guarda. Por lo tanto, cuanto mayor sea el periodo de símbolo para una velocidad de datos dada (mas subportadoras) menor es la pérdida de potencia y eficiencia de ancho de banda.

El sistema de comunicación basado en OFDM para transmitir esta conformado por la entrada de L símbolos QAM y son tratados como subportadoras separadas, estos símbolos L de datos se pueden crear a partir de un flujo de bits por mapeo de símbolos y convertidor de serie a paralelo (S/P). Se usa la Transformada inversa rápida de fourier (IFFT) para modular las subportadoras y se agrega el prefijo

cíclico para eliminar efectos de Interferencia entre Símbolos (ISI), en el receptor quita el prefijo cíclico agregado anteriormente y pasa por un convertidor paralelo a serie (P/S), luego es demodulado con la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y finalmente los símbolos son recuperados mediante un ecualizador en el dominio de la frecuencia (FEQ). En este diagrama de bloque se considera que el transmisor y receptor están sincronizados, pero en ambientes reales el receptor en el momento de demodular la señal debe sincronizarse con el transmisor tanto en tiempo como en frecuencia. Para lograr un sincronismo en el dominio del tiempo el receptor debe conocer el desplazamiento y temporización de cada símbolo y en el dominio de la frecuencia, la frecuencia de la portadora debe ser cercana al transmisor. En la Figura 2.8 se puede observar el diagrama de bloques de un sistema OFDM.

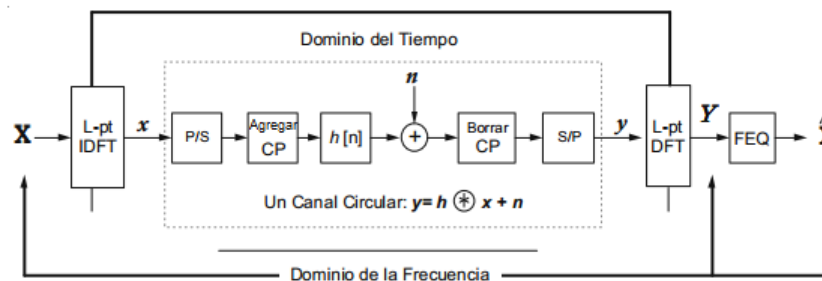


Figura 2.8: Diagrama de bloques para sistema OFDM en WiMAX

En OFDMA la sub-canalización define sub-canales que pueden ser asignados a estaciones móviles (MS) en función de la condición del canal y requisitos de datos. El uso de sub-canalización de manera simultánea en WiMAX móvil la estación base (BS) puede incrementar su potencia para que las estaciones móviles reciban una señal con la menor relación señal ruido (SNR), y menos potencia para los usuarios de dispositivos con una mayor relación señal ruido. Sub-canalización también permite a la BS de asignar mayor potencia a sub-canales asignados en cada estación móvil incrementando la cobertura. La sub-canalización en enlace subido se pretende ahorrar energía en la estación móvil y por eso asigna ciertos valores de potencia mínima a sub-canales que le han sido asignados, con lo que se ahorra energía en dispositivos móviles. Los símbolos OFDMA se pueden analizar en el dominio del tiempo (Figura 2.9), estos símbolos son el resultado de IFFT, para mitigar el efecto de la Interferencia entre Símbolos (ISI) y los efectos de multi-trayectoria, se realiza una copia de la última parte del símbolo ($T_g = 1/N T_b$) que es repetido en el inicio, esto se llama prefijo cíclico, el valor de N depende de las condiciones del canal donde los efectos de multi-trayectoria son considerables se considera un valor grande de N, con esto se incrementa la redundancia, en cambio para

efectos de multi-trayectoria de que no son considerable un valor pequeño de N . Para WiMAX fijo el valor de N tener los valores de 4, 8, 16, 32 y para la versión móvil el valor de $N=8$. La duración de símbolo se define por $T_s=T_b+T_g$. Mientras el prefijo cíclico sea grande y comparable con el retardo de propagación, la señal en el receptor va a ser recuperada.

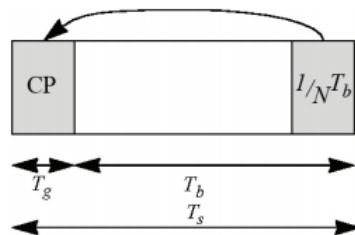


Figura 2.9: Símbolo OFDMA en el dominio del tiempo [23]

Capa Física WiMAX móvil OFDMA: el tamaño de la FFT es escalable de 128 a 2048. Cuando aumenta el ancho de banda disponible, el tamaño de FFT también aumenta tal que la separación de subportadora es siempre 10.94kHz. Esto mantiene la duración del símbolo OFDM, que es la unidad de recursos básico, fijo y por lo tanto hace que la escala tiene un impacto mínimo en las capas superiores. La separación de subportadora de 10.94kHz fue elegido como una buena base para satisfacer los requisitos en cuanto a dispersión Doppler para operar en entornos fijos y móviles. Esta separación de subportadora puede apoyar los valores de retardo propagación de hasta 20 microsegundos y la movilidad vehicular de hasta 125 kilómetros por hora cuando se opera en 3.5GHz. Una separación de subportadora de 10.94kHz implica que 128, 512, 1024, y 2048 FFT se utilizan cuando el ancho de banda de canal es 1.25 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 20 MHz respectivamente. En la Figura 2.10 se puede observar, la agrupación de las subportadoras en sub-canales.

Sub-canalización OFDMA: Las subportadoras que están disponibles se pueden dividir en grupos de subportadoras llamadas subcanales. La Subcanalización en WiMAX fijo es limitada en enlace de subida, se establece 16 canales donde 1, 2, 4, 8, o todos los grupos se pueden asignar a una estación de abonado (SS). Las estaciones de abonado pueden transmitir utilizando sólo una fracción (por ejemplo 1/16) del ancho de banda asignado a ella por la estación base.

En la figura 2.11 muestra claramente que en el eje del tiempo esta el tamaño FFT que puede ser desde 256 a 2048 con su grupo de símbolos OFDM dependiendo la aplicación, y en el eje de la frecuencia esta el grupo de subportadoras, este número de subportadoras dependerá del ancho de banda asignado en WiMAX.

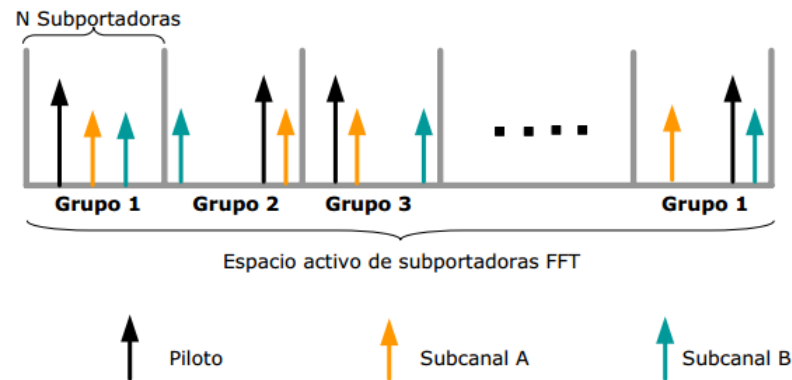


Figura 2.10: División en subcanales en OFDMA [3]

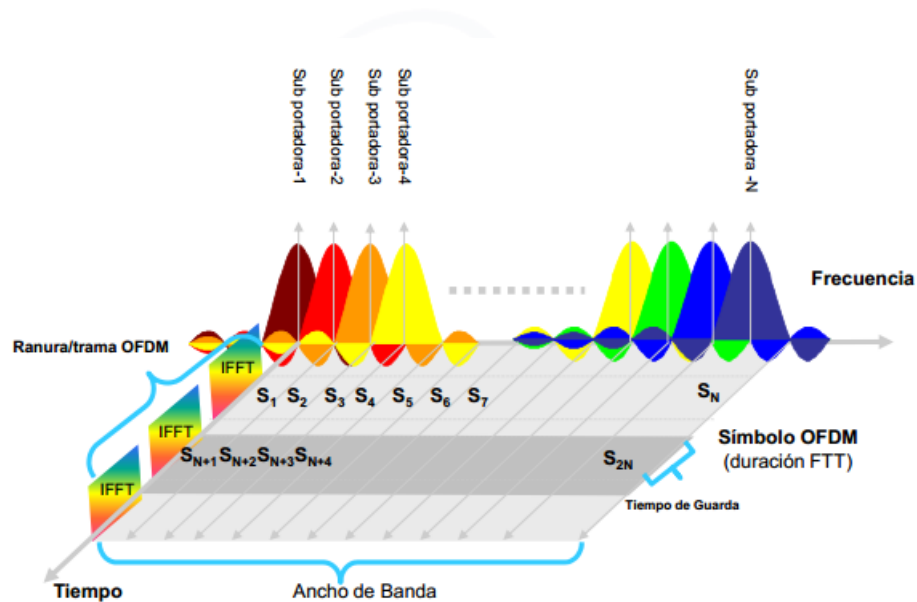


Figura 2.11: Señal en dos dimensiones OFDM [20]

En WiMAX móvil permite Sub-canalización tanto en el enlace subida y el enlace de bajada, por lo tanto, diferentes subcanales pueden ser asignados a diferentes usuarios como mecanismo de acceso múltiple. Los perfiles WiMAX iniciales definen 15 y 17 subcanales para el enlace de bajada y el enlace de subida, respectivamente, para el funcionamiento en el ancho de banda de 5 MHz. Para la operación de 10 MHz, que es de 30 y 35 canales, respectivamente. El esquema de Subcanalización basado en subportadoras contiguas en WiMAX se denomina codificación y modulación adaptativa (AMC). En la cuadro 2.1 muestra un resumen de la capa Física WiMAX OFDM y OFDMA.

Cuadro 2.1: Capa Física WiMAX Fijo OFDM Y móvil OFDMA

	WiMAX Fijo	WiMAX Movil
Multiplexacion	OFDM	OFDMA
Frecuencia	2-11GHz	2-11GHz
Modulación	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Número de Subportadoras	256	1024
Duplexación	TDD, FDD	TDD, FDD
Canal	1,75-20MHz	1,50-20MHz
Aplicación	NLOS	NLOS
Ancho Banda Canales	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25 MHz, 5 MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz
Separación de subportadora	15.625kHz, 31.25kHz, 45 kHz	10.94 kHz

El sistema WiMAX móvil de este proyecto el ancho de banda del canal es 10MHz esto implica 1024 subportadoras si consideramos un intervalo de guarda de 1/8 tendremos 768 subportadoras de datos. En el cuadro 2.2 se puede observar los parámetros y valores para OFDMA.

Cuadro 2.2: Parámetros y valores de OFDMA

Parametros	Valores			
Sistema Ancho de Banda (MHz)	1.25	5	10	20
Tamaño de FFT	128	512	1024	2048
Numero de Sub-Canales	2	8	16	32
Espaciamiento entre subportadoras	10.94KHz			
Tiempo de Símbolo útil ($T_b=1/f$)	91.4 microsegundos			
Tiempo de Guarda ($T_g=T_b/8$)	11.4 microsegundos			
Duración Símbolo OFDMA ($T_s=T_b+T_g$)	102.9 microsegundos			
Número de símbolos OFDMA (Trama 5ms)	48			

Con los datos del cuadro anterior se puede calcular la tasa de bits de la siguiente manera:

$$Tasa = \frac{L_d * \log_2(M)r}{T} = \frac{768 * \log_2(64) * 3/4}{102,9} = 33,58Mbps \quad (2.2)$$

Donde T es la duración de símbolo, M es el numero de puntos del diagrama de constelación de la modulación usada en el sistema, r es la tasa de codificación, y Ld es el numero de subportadoras de datos. Por lo tanto considerando del cuadro 2.1, T=102.9 micro segundos, Ld=768 subportadoras de datos, r=3/4, M=64 debido a que se usara una modulación QAM-64.

WiMAX soporta modulación adaptativa como se mencionó anteriormente, esto implica varios tipos de modulación y codificación, utilizando el indicador de calidad de canal mediante retroalimentación, las estación móvil puede proporcionar información a la estación base sobre la calidad de canal de enlace de bajada, basado

en la calidad de la señal recibida. Además, se considera la tasa de Error binario (BER) y la Relación Señal Ruido (SNR). En Figura 2.12 se observa la modulación adaptativa en función de SNR.

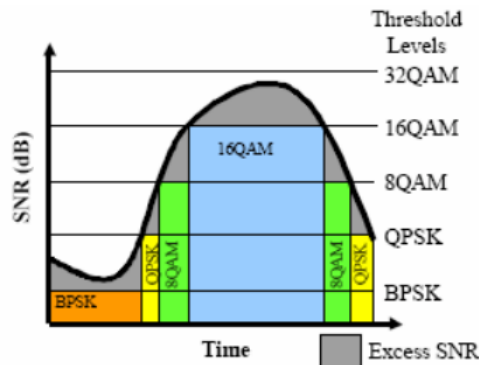


Figura 2.12: Modulación Adaptiva en función de la SNR del canal [23]

Estructura de Slot y Trama: El recurso de tiempo-frecuencia mínima que se puede asignar por un sistema WiMAX para un enlace dado se llama slot o ranura, en cada ranura consta de un subcanal que contiene uno, dos, o tres símbolos OFDM. Las tramas OFDMA y OFDM funcionan en modo TDD, la trama se divide en dos subtramas: una trama de enlace de bajada, un intervalo de guarda pequeño y una trama de enlace de subida. La subtrama del enlace de bajada a subida puede variar de 3:1 a 1:1 para soportar diferentes perfiles de tráfico. WiMAX también es compatible con duplexación por división de frecuencia, en cuyo caso la estructura de trama es el mismo, excepto que tanto el enlace de bajada y el enlace de subida se transmiten simultáneamente sobre diferentes portadores. TDD permite una distribución más flexible del ancho de banda entre enlace subida y bajada, además tiene un diseño más simple del transceptor. La desventaja de TDD es la necesidad de sincronización a través de múltiples estaciones base para asegurar la coexistencia libre de interferencias. Sin embargo, pueden obligar a algunos operadores para desplegar WiMAX en modo FDD [1]. En la Figura 2.13 muestra un ejemplo de una ráfaga usada en WiMAX móvil usando OFDMA.

la Sub-trama del enlace de bajada comienza con un preámbulo de enlace de bajada que se utiliza para procedimientos de capa física, como el tiempo, sincronización de frecuencia y la estimación de canal inicial. El preámbulo de enlace de bajada es seguido por una cabecera de control de trama (FCH), que proporciona información de configuración de la trama, tal como la longitud MAP mensaje, el esquema de modulación, codificación, y las subportadoras utilizables. Varios usuarios son asignados en las regiones de datos dentro de la trama, y estas asignaciones se

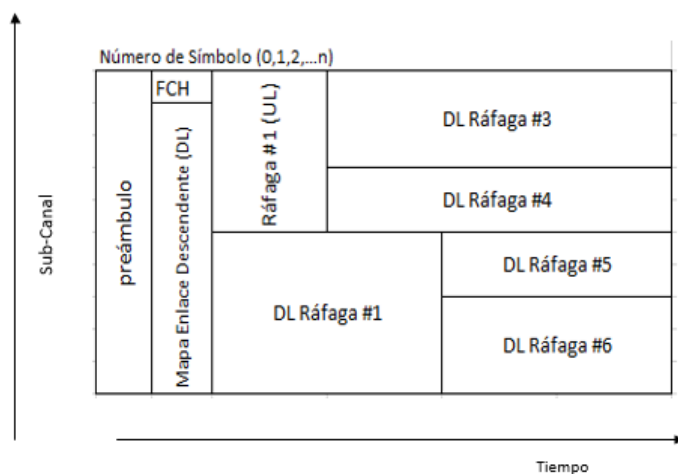


Figura 2.13: Sub-Trama de Enlace de Bajada OFDMA [6]

especifican en los mensajes MAP de enlace de subida y bajada (DL-MAP y UL-MAP) que se emiten siguiendo la FCH en la subtrama del enlace de bajada. En los Mensajes MAP incluyen el perfil ráfaga para cada usuario, que define el esquema de modulación y codificación usado en ese enlace. En WiMAX múltiples paquetes de usuarios son multiplexados en una sola trama, es por eso que una única trama de enlace de bajada puede contener múltiples ráfagas de diversos tamaños y tipos de datos para llevar a varios usuarios. El tamaño de la trama varía básicamente entre 2ms a 20ms, además cada ráfaga puede contener múltiples paquetes concatenados de tamaño fijos o variable o fragmentos de paquetes recibidos de las capas superiores. Sin embargo, los equipos WiMAX soportan tramas de 5ms [1].

Permutación de Subportadoras en WiMAX móvil

En el estándar 802.16e un subcanal es un conjunto de subportadoras, el número y la distribución exacta de las subportadoras que constituyen un subcanal dependen del modo de permutación. El número de subcanales asignados para transmitir un bloque de datos depende de varios parámetros, tales como el tamaño del bloque de datos, el formato de modulación, y la tasa de codificación [21]. Para comprender el concepto de permutación se debe dominar los siguientes conceptos:

- **Ráfaga de datos:** Datos que son transmitidos con diferentes tipos de modulación y codificación, una región de datos puede ser enviada por la estación base

en el enlace de bajada como una transmisión a una o varias (Multidifusión) estaciones suscriptoras.

- **Segmento:** Es una subdivisión del conjunto de subcanales OFDMA disponibles y que es utilizado para el despliegue de una simple instancia de la MAC.
- **Zona de Permutación:** Es una cantidad de símbolos OFDMA contiguos en el enlace de bajada (DL) o de subida (UL), que utilizan el mismo modo de permutación. Se puede lograr una gran flexibilidad en el diseño ya que una sub-trama DL o UL puede contener más de una zona de permutación.
- **Mapeo de Datos OFDMA:** se realiza en enlace de subida y bajada para el caso del enlace de subida segmenta los datos después del bloque de modulación de forma que entren en un slot OFDMA, cada slot debe abarcar un subcanal y uno o más símbolos OFDMA en el tiempo. Mapear los slots de tal forma que el slot con el número más bajo ocupe el subcanal más bajo en el símbolo OFDMA más bajo. Continuar hasta que alcance el borde de la región de datos, continuar el mapeo desde el subcanal OFDMA con el número más bajo en el próximo símbolo disponible. Para el enlace de subida el mapeo consiste en dos etapas. En la primera se seleccionan los slots OFDMA asignados a cada ráfaga, y en la segunda etapa los slots asignados son mapeados siguiendo las mismas consideraciones anteriores [14].

Modo de Permutación: Utilización Parcial de Subportadoras (PUSC)

Un símbolo está conformado tanto de portadoras piloto y portadoras de datos, para el modo de permutación PUSC, el símbolo primero se divide en subconjuntos denominados clústeres para el enlace de bajada y subida. Para el enlace de bajada, DL PUSC, las portadoras piloto y de datos son asignadas dentro de cada clúster. Cada clúster consta de 14 subportadoras adyacentes sobre dos símbolos OFDM (Figura 2.14). Un resumen de los parámetros del modo de permutación de subportadora DL – PUSC se muestra en el cuadro 2.14.

Modo de Permutación: Utilización Completa de Subportadoras (FUSC)

En el caso de DL FUSC, todas las subportadoras de datos se utilizan para crear los distintos subcanales. Cada subcanal se compone de 48 subportadoras de datos, que se distribuyen de manera uniforme a través de toda la banda de frecuencia, como se muestra en la Figura 2.15. En FUSC, las subportadoras piloto se asignan primero,

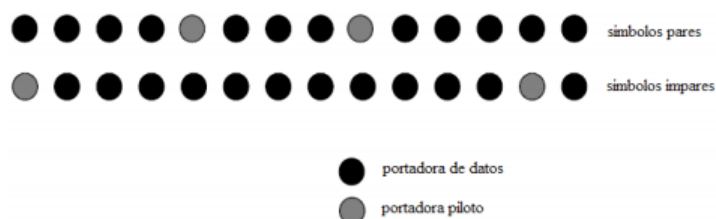


Figura 2.14: Estructura de un clúster [1]

	FFT-128	FFT-512	FFT-1024	FFT-2048
Subportadoras por Clúster	14	14	14	14
Cantidad de Subcanales	3	15	30	60
Cantidad de Clústeres	6	30	60	120
Subportadoras de Datos utilizadas	72	360	720	1440
Subportadoras Piloto	12	60	120	240
Subportadoras de guarda izquierda	22	46	92	184
Subportadoras de guarda derecha	21	45	91	183

Cuadro 2.3: Parámetros del modo de Permutación DL PUSC [1]

y luego el resto de las subportadoras son mapeadas a los diversos subcanales, utilizando un esquema de permutación. El conjunto de las subportadoras piloto se divide en dos conjuntos de constantes y dos conjuntos de variables [21]. El índice de la subportadora piloto del conjunto variable cambia de un símbolo OFDMA al siguiente, mientras que el índice de las portadoras piloto pertenecientes al conjunto constante se mantiene. En canales con un ancho de banda de pequeño, es decir, con gran retardo de dispersión, los conjuntos de subportadoras piloto variables pueden ser muy útiles para que el receptor estime mejor la respuesta del canal a lo largo de todo el ancho de banda. Los parámetros del modo de Permutación de Subportadora FUSC se muestran en el cuadro 2.3.

	FFT-128	FFT-512	FFT-1024	FFT-2048
Subportadoras por subcanal	48	48	48	48
Cantidad de subcanales	2	8	16	32
Subportadoras de datos utilizadas	96	384	768	1536
Subportadoras piloto en el grupo constante	1	6	11	24
Subportadoras piloto en el grupo variable	9	36	71	142
Subportadoras de guarda izquierda	11	43	87	173
Subportadoras de guarda derecha	10	42	86	172

Cuadro 2.4: Parámetros del modo de Permutación de Subportadora FUSC [1]

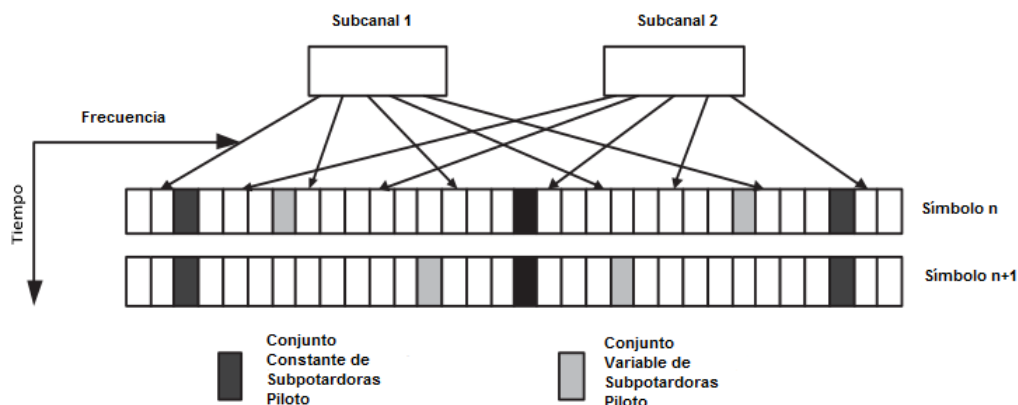


Figura 2.15: Modo de Permutación FUSC [1]

2.4 Codificación del Canal

En los sistemas inalámbricos se usa la codificación para corregir errores de transmisión y consta de los siguientes pasos:

- Aleatorización de los datos
- Codificación para corrección de errores de envío (FEC)
- Entrelazado de bits
- Repetición
- Modulación

2.4.1 Aleatorización de los datos

Esto se logra en cada secuencia de datos tanto en enlace de subida como de bajada, con la excepción de la cabecera de control de trama, hay que considerar que si los datos enviados desde la capa MAC para aleatorizar no son suficientes para lo que necesita el enlace se rellena con 0xFF (todos 1) lo que falta al final de la trama. El propósito de la etapa de aleatorización es proveer encriptación de capa física y evitar largas secuencias de unos o ceros consecutivos. En el caso de utilizar la solicitud automática de repetición híbrida (HARQ), el patrón de aleatorización debe ser idéntico para cada intento HARQ, es decir, la semilla inicial del registro de desplazamiento debe mantenerse constante, para permitir la decodificación conjunta del mismo bloque FEC sobre múltiples transmisiones [14]. En la Figura 2.16 se puede observar el generador de secuencias pseudoaleatorias, por lo general cuatro dígitos más significativos representan el identificador de la estación base (BSID), cuatro dígitos menos significativos corresponde al número de trama.

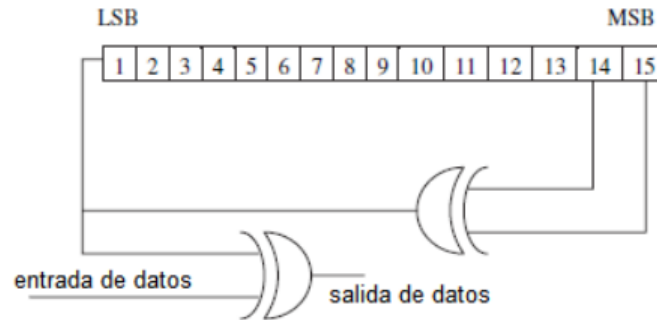


Figura 2.16: Generador de secuencias pseudoaleatorias para WiMAX OFDM [14]

2.4.2 Codificación

En WiMAX la codificación se realiza en el bloque corrección de errores de envío (FEC) y esta compuesto por dos tipos de codificadores:

- *Códigos Reed-Solomon (RS)*: Ésta codificación sirve para la corrección de errores agregando secuencia de bits redundantes a la secuencia de bits. Esto se logra mediante el submuestreo del polinomio creado de la secuencia original, los parámetros RS(N,K,T). Donde N representa el número total de bits codificados, K son los bits de información, T el numero máximo de bits que se puede corregir, t es el número de bits por símbolo.

$$N = 2^t - 1 \quad (2.3)$$

Por lo tanto el tamaño de bits codificadores es N, el tital de bits agregados para redundancia es N-K. y el número de bits máximo que puede corregir se expresa en la siguiente ecuación.

$$T = \frac{N - K}{2} \quad (2.4)$$

- *Códigos convolucionales* los códigos de paridad son enviados por el remitente, El codificador utiliza una ventana deslizante para calcular los bits de paridad mediante la combinación de varios subconjuntos de bits en la ventana. En la Figura 2.17 se puede observar un codificador FEC. primero los datos son enviados desde el aleatorizador luego son codificados con Reed-Solomon y códigos convolucionales, en la salida los datos codificados.

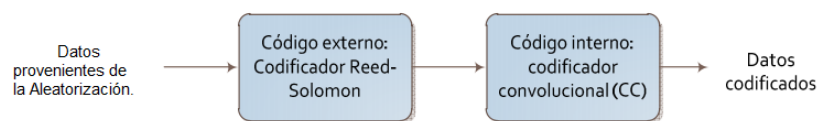


Figura 2.17: Codificador FEC en WiMAX [14]

2.5 Control de Potencia

Al hablar de control de potencia en WiMAX nos referimos a asignar mayor potencia a los canales más importantes, en OFDMA a cada suscriptor se le asigna un bloque de sub-portadoras con diferentes valores de SNIR y el sistema de antenas inteligentes es capaz de determinar el tipo de modulación, codificación, y el nivel de potencia transmitida, esto involucra ahorro de energía en los dispositivos, comparando los dispositivos actuales con los primeros que salieron al mercado se puede notar que se sigue incorporando más funcionalidades en los dispositivos actuales, este desarrollo que ha sido predicho hace años y que se conoce como la ley Moore. Es por eso que los fabricantes deben cumplir con la demanda del cliente ofreciendo un dispositivo ideal que sea pequeño, ligero, con varias funcionalidades. Un claro ejemplo son los primeros teléfonos móviles que fueron diseñados exclusivamente para servicios de voz, la nueva generación de teléfonos móviles integra un sistema operativo completo con una gran variedad de aplicaciones como reproductor mp3, cámara, redes sociales, juegos, esto requiere consumo de energía.

Para WiMAX móvil implica usar OFDMA debido a que tiene un control de potencia en el enlace de subida, reduciendo para no causar picos de potencia que pueden afectar a la BTS. Se logra mediante la división del ancho de banda a las estaciones móviles conectadas en la celda usando un subconjunto de portadoras. En la Figura 2.18 se puede observar OFDM con 256 subportadoras y OFDMA usa sólo 64 de las 256 subportadoras utilizadas debido a que OFDMA envía la misma ráfaga de datos de OFDM pero en un periodo mas largo utilizando toda la potencia.

La diversidad multiusuario describe los beneficios disponibles mediante la selección de un usuario. En OFDMA, la estación base asigna a cada usuario una fracción de las subportadoras, preferiblemente en un intervalo en el que tienen un canal en buen estado. Los sistemas WiMAX utilizan modulación y codificación adaptativa por la ventaja de las fluctuaciones (cambios) en el canal. La idea es transmitir datos a una velocidad alta cuando el canal es bueno, y transmitir a una velocidad más baja cuando el canal está en mal estado, con el fin de evitar el exceso de

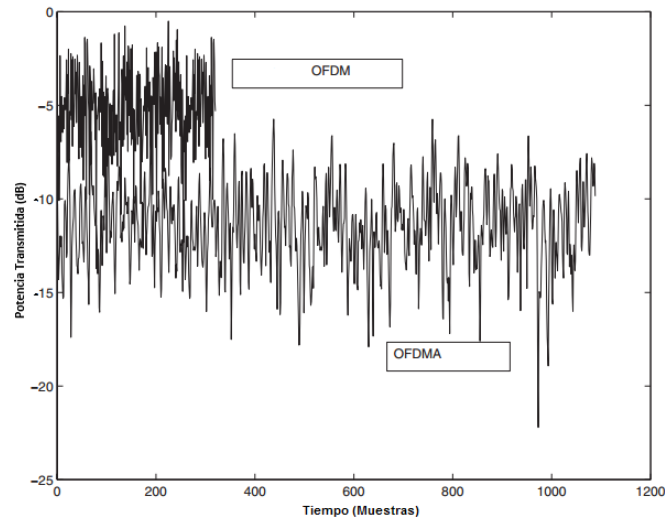


Figura 2.18: Diferencia de Control de potencia entre OFDM y OFDMA [1]

paquetes descartados. Velocidades de datos inferiores se logran usando de una pequeña constelación como QPSK, y de baja tasa de corrección de códigos de errores, como tasa convolucional de $1/2$ o los códigos turbo que concatenan un grupo de códigos mas pequeños. Las velocidades de datos más altas se alcanzan con grandes constelaciones, tales como 64-QAM, y códigos de corrección de errores menos robustos. En total, son 52 posibles configuraciones de modulación y tipos de codificación. En la Figura 2.19 se puede observar un ejemplo de la modulación adaptativa.

AMC

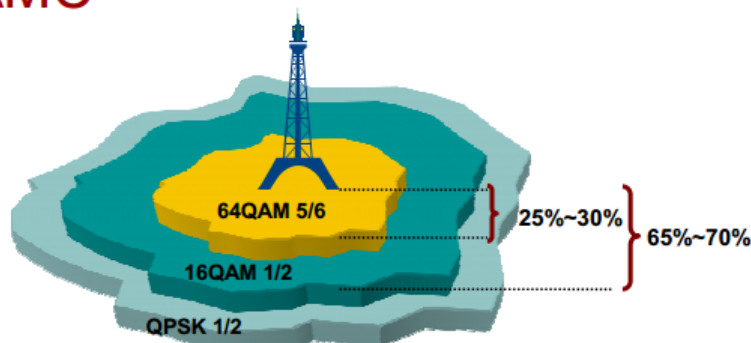


Figura 2.19: Modulación Adaptativa [20]

Se puede analizar que si hay una variación de hasta 25 % a 30 % del canal se puede usar 64-QAM, para variaciones de 65 a 70 % se puede usar 16-QAM y para valores superiores QPSK. En el siguiente cuadro se puede observar las codificaciones y

modulaciones soportadas para nuestro proyecto, para el enlace de bajada (UL) 64-QAM es opcional.

Codificaciones y Modulaciones Soportadas		
Modulación	DL	UL
	QPSK/16QAM/64QAM	QPSK/16QAM, 64QAM
CC (Codificación Convolutiva)	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 3/4
CTC (Codificación Convolutiva Turbo)	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 3/4
Repetición	x2, x4, x6	x2, x4, x6

Cuadro 2.5: Codificación y Modulación soportado [20]

A continuación se describe un resumen del control de potencia en WiMAX.

- Todas las portadoras se dividen en varios grupos (sub-canales)
- La codificación, modulación y amplitud se establecen por separado para cada sub-canal basado en las condiciones del canal.
- Diferentes sub-canales pueden ser asignados a diferentes usuarios en un mismo tiempo [3]

En las Figuras 2.20 se puede observar el comportamiento de OFDM y OFDMA y se puede concluir que OFDMA es mas eficiente debido a que supera los efectos de propagación multitrayectoria, antes de IFFT asigna de manera eficiente el ancho de banda, varios usuarios pueden estar conectados de manera simultanea debido a que comparten subportadoras y se hace uso de la modulación adaptativa.

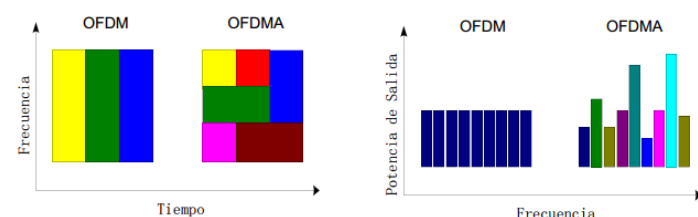


Figura 2.20: OFDM frente a OFDMA [20]

2.5.1 Tecnologías MIMO y Formación de haz (Beamforming)

La creciente demanda de comunicaciones móviles ha hecho que múltiples usuarios estén conectados simultáneamente, el desafío de las comunicaciones móviles esta en implementar tecnologías robustas para asegurar la integridad de la señal deseada y lidiar con el ruido, la interferencia y trayectos múltiples. Las principales tecnologías

incluyen antenas inteligentes, beamforming y la tecnología múltiple entradas múltiple salida (MIMO). Sistemas MIMO usan múltiples antenas inteligentes y/o múltiples transmisores y receptores utilizando diferentes caminos espaciales para mejorar los sistemas analámbricos como WiMAX ya que las señales inalámbrica viaja por diferentes caminos espaciales debido a las reflexiones de edificios y otros objetos, estos trayectos complican a la señal inalámbrica en la recepción de la misma. Los sistemas MIMO pueden utilizar múltiples trayectos adicionales a medida que se agregan mas señales para la transmisión de datos, esto implica múltiples usuarios conectados y por lo tanto la asignación de canales para los usuarios conectados.

La técnica beamforming envía datos sobre la mejor ruta disponible entre el transmisor y el receptor. Para hacer referencia a esta ruta, el transmisor usa un algoritmo de cambio de fase que se concentra la mayor parte de la potencia de radio hacia el receptor previsto, esto se logra tomando mediciones en el enlace de subida y aplicando correcciones basadas en estas mediciones en el enlace de bajada, esto implica un sistema de procesamiento alto que hoy en día es posible en un tiempo instantáneo mejorando el rendimiento de la red WiMAX, beamforming adaptativo mide las características de las señales que llegan por múltiples trayectos desde un dispositivo la estación móvil. Estas características incluyen potencia de la señal, fases, y los ángulos de llegada. Entonces, el sistema crea un mapa de las mejores rutas de enlace de bajada al dispositivo. La señal de enlace de bajada es enviada utilizando todos los trayectos múltiples disponibles, de tal manera que todas las señales reflejadas llegan a la estación móvil juntas y en fase. El resultado final se incrementa la relación señal a ruido, una relación señal a ruido (C/I) mas alta permite el uso de modulaciones como la 64 QAM, lo que significa que la señal se puede transmitir y decodificar datos a una mayor velocidad. en WiMAX móvil permite la beamforming adaptativo en la misma frecuencia para el enlace ascendente y descendente. Esto ha creado un ambiente perfecto para los sistemas de antenas inteligentes y beamforming, ya que beamforming ya no es sólo para la cobertura, también es para aumentar la capacidad de la red WiMAX. la unión entre MIMO y beamforming hace que la señal llegue a ambientes indoor (interiores).

En la Figura 2.5.1 muestra una comparación de un sistema WiMAX con beamforming y sin beamforming presentando las siguientes conclusiones. **Sin beamforming**

- La energía es dispersada a través de todo el sector.

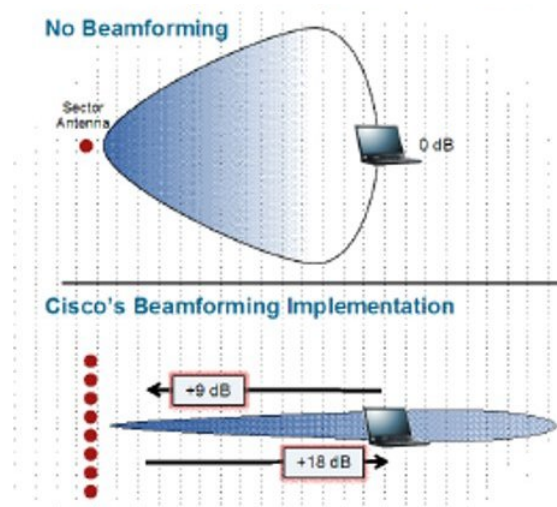


Figura 2.21: Comparación de un sistema WiMAX con beamforming y sin beamforming [28]

- La ganancia decrece rápidamente con la distancia como consecuencia hay degradación del rendimiento.
- La cobertura es limitada. Para que haya mejor cobertura las celdas deben estar estrechamente espaciadas.
- La interferencia entre celdas afecta al reuso de frecuencias.

Con beamforming

- Actualización cada 5ms para que la energía se concentre para cada estación móvil.
- Mantiene la ganancia a pesar de la distancia, mejorando el rendimiento.
- Incrementa la cobertura, los sectores pueden estar separados.
- La interferencia entre sectores es minimizada, permitiendo el reuso de frecuencias.

2.6 Handoff en WiMAX

Inicio de Handoff en la Estación Base (BS)

La estación base al iniciar el handoff es capaz de decidir que MS descartar y realizar handoff hacia otra BS, esto es debido a que la BS ya no puede proporcionar a la estación móvil la QoS requerida, o que la estación móvil se mueve hacia una área fuera del radio de cobertura. El proceso de handoff es indispensable que se realice a nivel de BS, ya que una estación móvil tiene recursos limitados en cuanto

a procesamiento. La BS siempre esta transmitiendo un mensaje MOB_NBR-ADV a la MS actual, pero transmite el mensaje MOB_BSHO-REQ para indicarle a la estación móvil que necesita hacer el proceso de handoff y por el mensaje final MOB_BSHO-REQ define una lista de BS disponibles junto con la información de los canales y niveles de calidad de servicio. El resto del proceso de transferencia es similar al caso de traspaso iniciado por MS. La MS espera la lista de las estaciones de base disponibles y luego envía un mensaje HO-IND a su BS actual. Al recibir el mensaje Receive Fast_ranging, la estación móvil envía un mensaje RNG-REQ de solicitud a la BS disponible para el registrarse. Este procedimiento se puede observar en la siguiente figura 2.22.

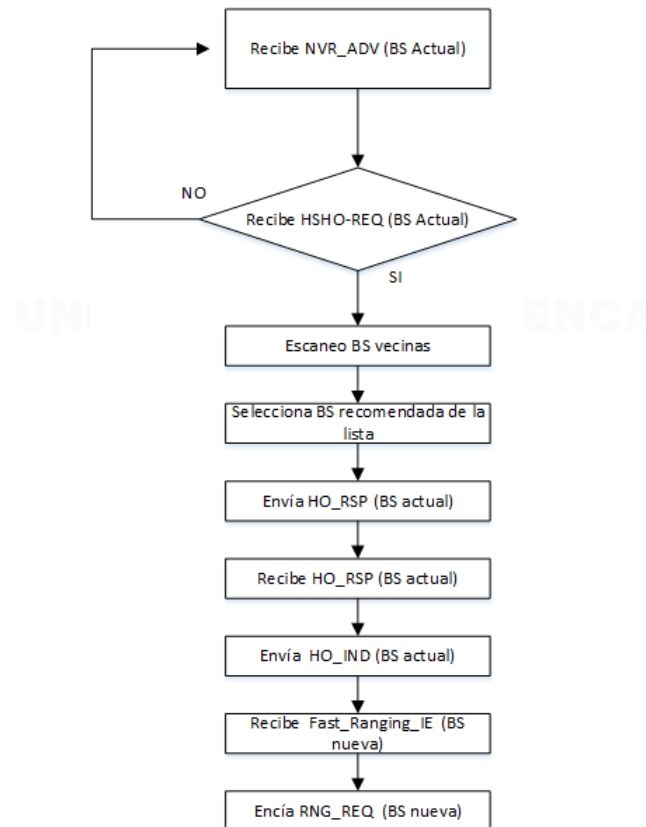


Figura 2.22: Handoff a nivel de BS [30]

2.6.1 Hard Handoff

El hard handoff ocurre en una conexión repentina desde una BS a una segunda BS tomando en cuenta que la MS puede conectarse únicamente a una BS. Consecuentemente, todas las demás conexiones con las demás BSs se pierden antes de la conexión con la nueva BS. En la figura 2.23 se puede observar la línea entre

las dos BS que es donde se produce el HHO. HHO es el tipo menos complejo de handoff pero incluye alta latencia, por consiguiente, es utilizado únicamente para transmisión de datos y no es recomendado para aplicaciones sensibles a la latencia como VoIP. La decisión de handoff puede ser tomada tanto por la BS como por

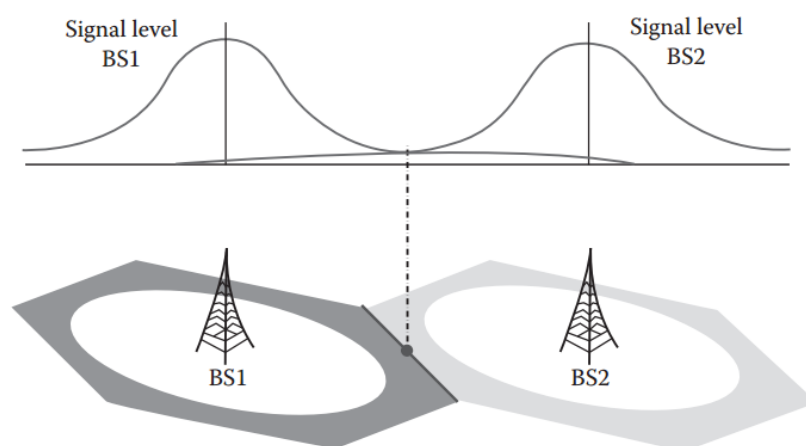


Figura 2.23: Proceso de HHO [1]

la MS. Cada MS realiza un proceso de escaneo de radio frecuencia mientras está conectada a la BS actual y mide la calidad de la señal de las BSs vecinas. El escaneo consiste en monitorizar cada posible frecuencia hasta que la señal de DL se reciba. Se le permite a la MS realizar el proceso inicial para asociarse con una o mas BSs vecinas. Una vez que el handoff se ha decidido, la MS inicia la sincronización de DL con la BS elegida para el traspaso; entonces esta analiza si el proceso fue realizado durante el proceso de escaneo de BS, y finalmente se desconecta de la BS a la que estaba conectada anteriormente.

2.6.2 Macrodiversidad de Handoff

la macrodiversidad de handoff (MDHO) es una forma de soft handoff o handoff suave en el que la MS se le permite mantener una conexión válida simultáneamente con mas de una BS. Cuando la MDHO está soportado tanto por la MS como por la BS, se mantiene un conjunto activo. El conjunto activo es una lista de BSs que pueden estar involucradas en el proceso de handoff. Como la lista de BSs se actualiza por medio del intercambio de mensajes MAC. Estos mensajes son enviados basados en el valor de CINR de las BSs, que depende de dos valores umbrales difundidos en el descriptor de canal de subida (DCD): el umbral de adición $H_Add_Threshold$ y el umbral de eliminación $H_Delete_Threshold$. Una BS servidor es eliminada del conjunto activo cuando el valor de CINR es menor que

el $H_Delete_Threshold$. Una BS vecina es adicionada al conjunto activo cuando el valor de CINR es mayor que el $H_Add_Threshold$. La MS continuamente monitorea las BS en el conjunto activo y define una BS a la cual conectarse de entre las demás BSs. El proceso de MDHO se puede observar en la figura 2.24.

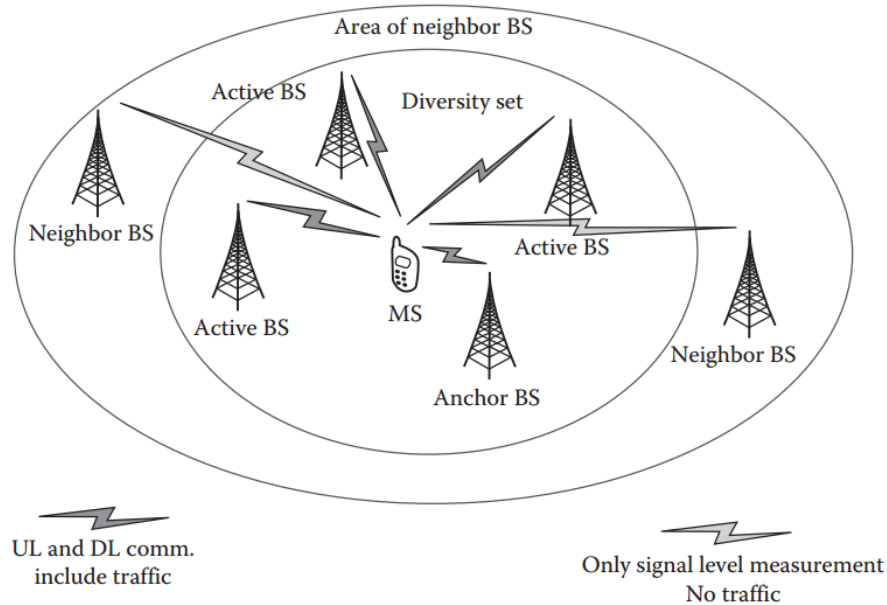


Figura 2.24: Proceso de MDHO [1]

El estándar IEEE 802.16d define el indicador de la potencia de la señal recibida (RSSI) y el CINR como los dos indicadores principales de la calidad de la señal que ayudan en las asignaciones de las BSs. Estos indicadores permiten monitorizar la calidad del canal y pueden incluir medidas relacionadas con parámetros de la calidad de servicio como el porcentaje del error de ráfaga. Cada BS tiene que recolectar las medidas de RSSI, mientras cada MS obtendrá un valor de RSSI en una conexión específica. Después de realizar sucesivas medidas de RSSI, la MS debe obtener y actualizar las estimaciones de la media y la desviación estándar del RSSI y reportar este valor en unidades de dBm por medio de un mensaje REP-RSP [1]. Para obtener este reporte, las estadísticas son cuantizadas en incrementos de 1dBm, en una escala de -40 a $-123dBm$ mientras que los valores fuera de este rango son asignados a los valores límites dentro de la escala. El estándar propone un posible método para calcular el valor de RSSI que se especifica en la fórmula 2.5.

$$RSSI = 10^{-G_{rt}/10} * \left[\frac{(1,2567 * 10^4 V_C^2)}{(2^{2B}) R} \right] * \left(\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |Y_I \text{ or } Q[k, n]| \right)^2 mW \quad (2.5)$$

donde:

B es la precisión de ADC (número de bits del ADC).

R es la resistencia de entrada del ADC en Ohm.

V_C es la energía de entrada del ADC (volts).

G_{rt} es la ganancia analógica de conector de la antena a la entrada del ADC.

$Y_{I \text{ or } Q}[k, n]$ es la nth muestra a la salida del ADC.

N es el número de muestras.

Por otra parte, las medidas de CINR permite una visión mas clara de las condiciones de operación del receptor incluyendo la intensidad de la señal y los niveles de ruido e interferencia. Cada BS debe recolectar las medidas de CINR, mientras que cada MS obtendrá la medida de CINR en su conexión. Después de realizar sucesivas medidas de CINR, la MS deberá Obtener y actualizar las estimaciones de la media y la desviación estándar del CINR e informará de este valor en unidades de dB mediante mensajes REP-RSP.

En WiMAX el handoff se define como la decisión y el procedimiento que permite a una estación móvil (MS) migrar de la interfaz aérea de una estación base (BS) a la interfaz de otra BS, y consiste en algunos procedimientos que se detallarán mas adelante, además. Existen algunos tipos de Handoff como: Hard, Soft y Softer dependiendo del tipo de solución móvil implementada. El Hard Handoff ocurre cuando la MS recibe un paquete de datos de únicamente un punto de conexión de la BS actual, desconectándose de esta y posteriormente estableciendo una conexión con otra BS. De forma contraria el Soft Handoff permite que la BS recibir los paquetes de datos de mas de un punto de conexión simultáneamente, primero se establece la conexión a una nueva BS y luego se desconecta de la BS anterior. Finalmente, el Softer handoff ocurre cuando la cantidad de paquetes perdidos se minimiza, realizando la transmisión de una forma transparente.

Como existe más de un punto de conexión para realizar el handoff, la decisión de seleccionar un nuevo punto de conexión debe ser tomada por el MS o por la red; entonces el handoff puede ser controlado por el móvil o por la red respectivamente. El handoff es controlado por el móvil y recibe asistencia de la red cuando la decisión de handoff es tomada por el móvil basado en información recibido de la red. Contrariamente, si la decisión de handoff es tomada por la red de acuerdo a la información recibida desde el móvil como una señal de calidad de los puntos de conexión en las vecindades, entonces el handoff es controlado por la red y recibe asistencia del móvil [23]. El proceso de Handoff puede ser resumido en los siguientes eventos:

1. **Reselección de Celda:** Durante esta etapa, la MS realiza un escaneo y una asociación con una o mas BSs vecinas para determinar la mejor opción para realizar el handoff. Después de realizar la reselección de la celda, la MS vuelve a sus operaciones normales con la nueva BS.
2. **Decisión e Iniciación de Handoff:** El proceso de Handoff empieza con la decisión de la MS de migrar su conexión de la BS actual a una nueva BS. Esta decisión puede ser tomada por la MS, la BS o por alguna otra entidad externa de la red WiMAX y depende de la implementación. Cuando la decisión de handoff es tomada por MS, esta envía un mensaje MOB_MSHO-REQ a la BS, indicando una o mas BSs como opciones de handoff. Entonces, la BS envía un mensaje MOB_BSHO-RSP indicando la BS que será utilizada para el proceso de handoff. La MS envía un mensaje de MOB_MSHO-IND indicando cual de las BSs indicadas en el mensaje MOB_BSHO-RSP será usada para el handoff. Cuando la decisión de handoff es tomada por la BS, esta envía un mensaje MOB_BSHO-REQ a la MS, indicando que una o mas BSs para realizar el handoff. En este caso la MS envía un mensaje MOB_MSHO-IND indicando haber recibido la decisión de handoff y su elección de la BS. Después que el proceso de handoff ha sido inicializado, la MS puede cancelarlo en cualquier momento [1].
3. **Sincronización con la BS elegida:** una vez que la BS ha sido determinada, la MS se sincroniza con su transmisión de DL (descarga). La MS empieza con un proceso de DL de preámbulo de trama de la BS. El preámbulo de trama es proporciona a la MS el tiempo y la frecuencia de sincronización con la BS. La MS decodifica los mensajes de DL-MAP, UL-MAP, DCD, y UCD para obtener información acerca del estado de canal. Esta etapa puede ser mas corta si la BS fue notificada del proceso de handoff inminente y ha tenido asignado recursos unicast para la MS.
4. **La BS seleccionada:** La MS usa el estado del canal realizando el proceso inicial para sincronizar su transmisión de UL con la BS y obtener información acerca del avance del tiempo inicial y el nivel de potencia. Este proceso inicial es similar al utilizado durante el ingreso a la red. la MS puede saltar este proceso o hacerlo mas corto si esta realiza la asociación con la BS durante el estado de reselección o escaneo.
5. **Terminación de la conexión con la BS anterior:** Después de establecer la conexión con la nueva BS, la MS puede decidir terminar la conexión con la BS a la que estaba conectada anteriormente enviando un mensaje

MOB_HO-IND a la BS. Una vez recibido el mensaje, la BS empieza a retener los recursos de temporizador y mantiene todos los estados MAC de los equipos y almacena los MAC PDUs asociados con la MS hasta la expiración del temporizador. Una vez que el recurso del temporizador expira, la BS descarta todos los estados MAC de los equipos y los MAC PDUs pertenecientes a la MS, y el proceso de handoff se asume como terminado.

El tiempo durante el proceso de handoff está definido como la situación en la cual una MS ha detenido su comunicación con la BS anterior en sus procesos de subida y descarga de datos antes de que la secuencia normal de handoff haya sido completada. Cuando la MS detecta una caída de las llamadas, intenta la reconexión con otra BS, con el objetivo de conectarse nuevamente a la red.

2.7 Modelos de Propagación

La media de pérdida de propagación en un medio es estimada generalmente usando modelos analíticos basados ya sea en fundamentos físicos detrás del radio de propagación o la curva de ajuste estadístico de los datos recolectados por medio de mediciones. Para muchos de los escenarios de implementación prácticos, particularmente escenarios sin línea de vista, son muy utilizados los modelos estadísticos basados en métodos empíricos. Aunque la mayoría de los modelos estadísticos para la pérdida de trayectoria han sido tradicionalmente desarrollados y especializados para entornos móviles, muchos de ellos también pueden ser utilizados para una red fija sin línea de vista con algunas modificaciones de parámetros. En el caso de una red fija basada en una línea de vista, el modelo de propagación en el espacio libre puede ser utilizado para predecir la pérdida media de la trayectoria. Desde que WiMAX ha sido desarrollada para operar eficientemente incluso en ambientes sin línea de vista. A continuación, se describen algunos de los modelos de pérdidas de propagación que son relevantes para las implementaciones en ambientes sin línea de vista de WiMAX.

2.7.1 Modelo Hata

El modelo de Hata se basa en una formulación analítica de los datos de medición de pérdida de propagación recogidos por Okumura en 1968 en Japón. El modelo de Hata es uno de los modelos más utilizados para estimar la pérdida de propagación media en sistemas macrocelulares. El modelo proporciona un modelo para la pérdida de propagación media en función de la frecuencia de la portadora, estación base y alturas de las antenas de la estación móvil y las distancias entre las

estaciones base y móviles [1]. El modelo Hata es válido solo para la siguiente lista de parámetros:

$$\begin{aligned} 150MHz &\leq f \leq 1500MHz \\ 30m &\leq h_b \leq 200m \\ 1m &\leq h_m \leq 10m \\ 1Km &\leq d \leq 20Km \end{aligned} \quad (2.6)$$

En estos parámetros f es la frecuencia portadora en Mhz, h_b es la altura de la antena de la estación base medida en metros, h_m es la altura de la estación móvil medida en metros, y d es la distancia medida entre la estación móvil y la estación base, se mide en Km. De acuerdo con el modelo de Hata, la pérdida de propagación media en un entorno urbano está dado por:

$$\overline{PL}_{urbano} = 69,55 + 26,16 \log_{10} f - 13,82 \log_{10} h_b + (44,9 - 6,55h_b) \log_{10} d - a(h_m) \quad (2.7)$$

Donde \overline{PL}_{urbano} está expresado en la escala de dB, y $a(h_m)$ es el factor de corrección de la antena de la estación móvil. Para una ciudad grande con densidad de construcciones y calles estrechas, el factor de corrección de la antena de la estación móvil está dado por:

$$\begin{aligned} a(h_m) &= 8,29[\log_{10} [1,54 * f]]^2 - 0,8 & f \leq 300MHz \\ a(h_m) &= 3,20[\log_{10} [11,75 * f]]^2 - 4,97 & f \geq 300MHz \end{aligned} \quad (2.8)$$

Para una ciudad de tamaño pequeño o medio donde la densidad de los edificios es pequeña, el factor de corrección de la antena móvil está dado por:

$$a(h_m) = (1,11 \log_{10} f - 0,7) h_m - (1,56 \log_{10} f - 0,8) \quad (2.9)$$

Para un área suburbana, el factor de corrección para la misma antena de la estación base como el usado para las ciudades pequeñas es aplicable, pero la perdida de propagación media es modificada siendo:

$$\overline{PL}_{Suburbano} = \overline{PL}_{urbano} - 2 \left[\log_{10} \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5,4 \quad (2.10)$$

Para un área rural, es aplicable el mismo factor de corrección como el utilizado para ciudades pequeñas, pero la pérdida de propagación media se modifica siendo el siguiente:

$$\overline{PL}_{Rural} = \overline{PL}_{urbano} - 4,78[\log_{10}(f)]^2 - 18,33 \log_{10} f - 40,98 \quad (2.11)$$

El modelo puede ser generalizado también para cualquier medioambiente con una densidad de construcciones, de tal manera que la pérdida de propagación media es modificada a partir de una pequeña ciudad urbana como:

$$\overline{PL} = \overline{PL}_{urbano} + \text{compensación por construcciones} \quad (2.12)$$

2.7.2 Modelo Hata COST-231

El modelo Hata es ampliamente utilizado para redes celulares en la banda $800MHz/900MHz$. Se despliega también en la banda $1800MHz/1900MHz$, el modelo Hata fue modificado por el grupo Europeo COST (Cooperation in the field of Scientific and Research), y el modelo extendido de la pérdida de trayectoria se refiere al modelo Hata COST-231. Este modelo es válido para el siguiente rango de parámetros:

$$\begin{aligned} 150MHz &\leq f \leq 2000MHz \\ 30m &\leq h_b \leq 200m \\ 1m &\leq h_m \leq 10m \\ 1Km &\leq d \leq 20Km \end{aligned} \quad (2.13)$$

La pérdida media de trayectoria de este modelo está dado por:

$$\overline{PL} = 46,3 + 33,9 \log_{10} f - 13,82 \log_{10} h_b + (44,9 - 6,55 \log_{10} h_b) \log_{10} d - a(h_m) + C_F \quad (2.14)$$

El factor de corrección de la antena móvil $a(h_m)$ está dado por:

$$a(h_m) = (1,11 \log_{10} f - 0,7) h_m - (1,56 \log_{10} f - 0,8) \quad (2.15)$$

Para áreas urbanas y suburbanas, el factor de corrección C_F es $3dB$ y $0dB$, respectivamente. El foro WiMAX recomienda usar el modelo Hata COST-231 para la simulación de sistemas y la planificación de sistemas macrocelulares y para aplicaciones móviles tanto para áreas urbanas como suburbanas [1]. El foro

WiMAX también recomienda adicionar $10dB$ de margen de desvanecimiento a la pérdida de trayectoria para tomar en cuenta los efectos sombra.

2.7.3 Modelo SUI

El modelo SUI (Stanford University Interim) fue desarrollado para el diseño, desarrollo y pruebas en la banda de frecuencias ($3 - 3GHz$) del sistema de distribución de microondas. Fue recomendado por el estándar IEEE 802,16. El modelo SUI es valido para un radio de propagación dentro del rango de $2 - 3GHz$ y tiene diferentes ajustes de parámetros para los escenarios urbanos, suburbanos y rurales [30]. La máxima pérdida de trayectoria (tipo A) se da en terrenos montañosos con una densidad de árboles que va de moderado a alto. La mínima pérdida de trayectoria (tipo C) se produce en terrenos planos con una baja densidad de árboles. La pérdida de trayectoria intermedia es de tipo B. El modelo SUI es usado para antenas receptoras con una altura entre los 2 y 10 metros. El modelo de pérdida de trayectoria está dado por:

$$L_{SUI}(d, f, h_m) = A + 10\delta \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_h + s, \quad \text{para } d > d_0 \quad (2.16)$$

Con los factores de corrección para las frecuencias de operación y para el modelo de las alturas de las antenas de los CPE (customer-premises equipment ó equipos de instalación del cliente):

$$X_f = 6 \log_{10} \left(\frac{f}{2000} \right) \quad (2.17)$$

$$X_h = 10 \log_{10} \left(\frac{h_m}{2} \right), \quad \text{para terrenos tipo A y B} \quad (2.18)$$

$$X_h = 20 \log_{10} \left(\frac{h_m}{2} \right), \quad \text{para terrenos tipo C} \quad (2.19)$$

donde:

L_{SUI} es la pérdida por trayectoria del modelo SUI expresado en decibelios

d es la distancia entre la estación base (BS) y las antenas (CPE), $d_0 = 100m$

h_m es la altura del CPE sobre la superficie de la tierra

s es un factor distribuido normalmente que es usado para considerar el desvanecimiento causado por el efecto sombra

perteneciente a los árboles y otras construcciones y tiene un valor entre $8,2$ y $10,6dB$

Los otros parámetros se definen como:

$$A = 20 \log_{10} \frac{4\pi d_0}{\lambda} \quad (2.20)$$

$$\delta = a - bh_b - c/h_b \quad (2.21)$$

donde:

h_b es la altura de la estación base sobre la superficie de la tierra dado en metros y debe estar entre los 10 y 80m. Los parámetros a, b, c son constantes dependientes del tipo de terreno y se muestran en el cuadro 2.6.

El modelo SUI fue elegido como un modelo de planificación de redes basado en las siguientes razones:

1. El modelo fue aceptado por el estándar IEEE 802.16
2. Tiene un buen compromiso entre simplicidad y precisión, es decir, modela las características fundamentales de radiofrecuencia y es computacionalmente simple, con un número relativamente pequeño de parámetros.

Cuadro 2.6: Parámetros para el modelo SUI [30]

Parámetros del modelo	Terreno tipo A	Terreno tipo B	Terreno tipo C
a	4.6	4.0	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20

2.7.4 Modelo del Espacio Libre

El modelo del espacio libre es el modelo más simple que puede ser aplicado solo en espacios abiertos, por ejemplo, sin obstrucción en la línea de transmisión. Este modelo es considerado como un modelo de propagación estándar como referencia para todos los demás modelos de propagación [30].

El modelo de la pérdida de trayectoria en el espacio libre es el siguiente:

$$L_{fs}(f, d) = 32,44 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} d \quad (2.22)$$

donde:

L_{fs} es la pérdida en el espacio libre, expresado en decibelios.

d es la distancia entre el transmisor y el receptor, expresado en kilómetros.

f es la frecuencia en MHz.

En el modelo del espacio libre, muchos factores, como la reflexión/multitrayectoria, efecto sombra, desvanecimiento, factores atmosféricos, etc., que pueden afectar las transmisiones son omitidos. Este modelo, consecuentemente, no es un modelo apropiado para escenarios en el mundo real.

2.7.5 Modelo de difracción ITU-R 525/526 BULLINGTON

El método Bullington hace referencia a todos los objetos tomando como punto, el de mayor tamaño, para así formar un triángulo como base uniendo la línea del transmisor y del receptor. Este método calcula la pérdida equivalente de propagación a todos los obstáculos cuya altura está por encima del horizonte, ya que si está por debajo este se desprecia [5].

Este modelo utiliza como base las pérdidas de propagación en el espacio libre que se detallaron anteriormente en la fórmula 2.22, mientras que las pérdidas por difracción se calcula basándose en el método ITU-R 525.12 [25].

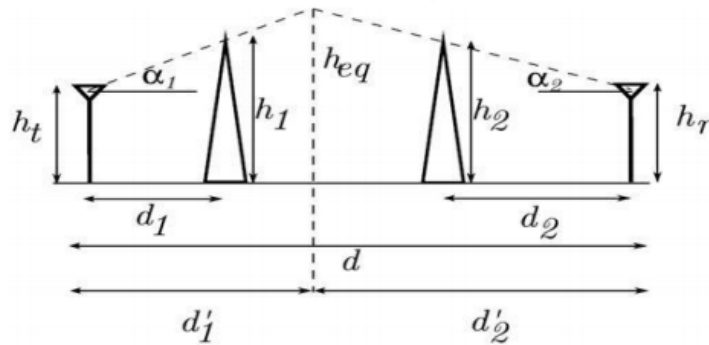


Figura 2.25: Geometría de Obstáculo Equivalente para el Modelo de Bullington [5]

En la figura 2.25 se puede observar un ejemplo de un enlace interrumpido por dos obstáculos, perdiendo la línea de vista entre el emisor y el receptor. A partir de la gráfica de la figura 2.25 y mediante geometría se calculará la nueva altura equivalente h_{eq} . La altura equivalente se calcula de acuerdo a las fórmulas 2.23 y 2.24.

$$h_{eq} = h_r + \left(d + d_1 \frac{h_t - h_r}{h_1 - h_t} \right) \frac{(h_2 - h_r)(h_1 - h_t)}{d_1(h_2 - h_r) + d_2(h_1 - h_t)} \quad h_t > h_r \quad (2.23)$$

$$h_{eq} = h_t + \left(d + d_2 \frac{h_r - h_t}{h_2 - h_r} \right) \frac{(h_2 - h_r)(h_1 - h_t)}{d_1(h_2 - h_r) + d_2(h_1 - h_t)} \quad h_t < h_r \quad (2.24)$$

Se calculan también las distancias existentes entre el nuevo obstáculo localizado en el punto donde se toma la nueva altura equivalente y el emisor y receptor dados por las ecuaciones 2.25 y 2.26.

$$d'_1 = d_1 \frac{h_{eq} - h_t}{h_1 - h_t} \quad (2.25)$$

$$d'_2 = d_2 \frac{h_{eq} - h_r}{h_2 - h_r} \quad (2.26)$$

Cuando la sombra es causada por un solo objeto como una colina o un edificio, la atenuación causada por la difracción puede ser estimada como difracción de Knife-Edge (Filo de Cuchillo) [17]. La pérdida por difracción puede ser calculada usando la solución clásica de Fresnel para el campo atrás del obstáculo.

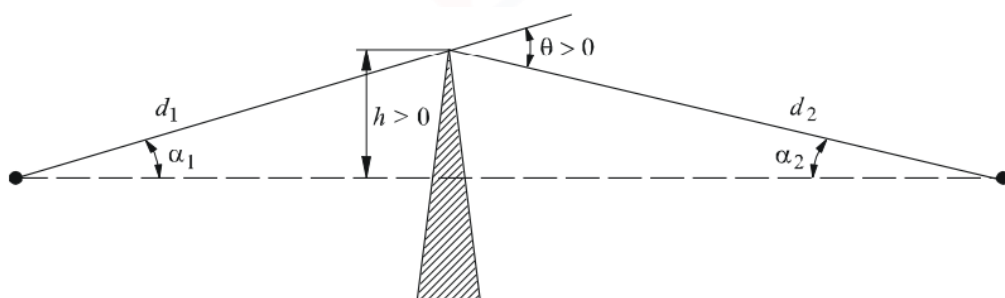


Figura 2.26: Geometría de Difracción de la punta del obstáculo cuando el receptor se encuentra en una región de sombra. [24]

El parámetro de Difracción de Fresnel-Kirchoff está dado por la ecuación 2.27.

$$v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} \quad (2.27)$$

donde:

h es la altura del obstáculo.

d_1 es la distancia del transmisor al obstáculo.

d_2 es la distancia del obstáculo a la antena receptora.

λ es la longitud de onda.

Las pérdidas causadas por la presencia de un obstáculo estarán dadas por la función de Bessel $J(v)$, para v mayores de $-0,7$ un valor aproximado puede ser

aproximado por la expresión dada por la ecuación 2.28. En el caso de que $v < -0,7$, las pérdidas se reducen a $0dB$.

$$J(v) = 6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0,1)^2} + v - 0,1 \right) \quad (2.28)$$

Las pérdidas totales se obtienen sumando los resultados de las pérdidas por espacio libre y las pérdidas por difracción, ecuación 2.29.

$$L_{Tot} = L_{bf} + J(v) \quad (2.29)$$

2.7.6 Modelo ITU-R 525/526 DEYGOUT

Se utiliza el modelo de Deygout (Deygout 1966) para calcular las pérdidas de difracción ya que considera los efectos producidos por los edificios que pueden ser aproximados por múltiples aristas de filo de cuchillo y estima las pérdidas producidas por los obstáculos más altos entre el transmisor y el receptor. [15]. Este modelo toma el perfil real de los edificios para realizar los cálculos.

Este método utiliza el modelo de pérdidas en el espacio libre que fue abordado anteriormente. Para el cálculo de las pérdidas de difracción se basa en las recomendaciones de la ITU-P 526.11. En este método los obstáculos se consideran del tipo de filo de cuchillo, cuya ilustración se puede observar en la figura 2.26, para calcular las pérdidas de difracción por n obstáculos que estén presentes entre el emisor y el receptor dentro de un enlace, se describen a continuación:

Primeramente se identifica el objeto de mayor altura considerado como el obstáculo principal, siendo aquel en el que la variable de difracción, denominada como V_p , toma el valor más alto. Se calculan las pérdidas por difracción $J(V_p)$ que provoca dicho obstáculo en el trayecto total [21].

Si el obstáculo bloquea el rayo ($V_p > 0$), se divide en dos subtrayectos producido por el obstáculo en el extremo del trayecto. Nuevamente, para cada uno de ellos se identifica el obstáculo principal con variable de difracción V_t y r , calculando a continuación las pérdidas por difracción que son producidos por estos nuevos obstáculos, $J(V_p)$ y $J(V_r)$, en el subtrayecto en que están ubicados.

Al seguir con los trayectos secundarios producidos por el obstáculo, se vuelve a analizar si los nuevos trayectos son bloqueados por otro obstáculo que bloquee el rayo ($V_{t,r} > 0$), entonces se utiliza como referencia para definir nuevos subtrayectos de forma similar a los pasos anteriores. Este proceso continúa hasta que ya no exista ningún obstáculo bloqueando el rayo en ninguno de los nuevos subtrayectos

definidos. Las pérdidas que producen los obstáculos que interceptan la primera zona de Fresnel, sin llegar a bloquear el rayo, dentro del mismo subtrayecto, se suman entre sí [8].

2.7.7 Modelo de Propagación Elegido para la Simulación

Para realizar la simulación en el software ICS Telecom, se utilizan dos modelos de propagación. Para la zona urbana se utiliza el modelo de propagación de DEYGOUT debido a que este modelo utiliza más de un obstáculo considerando como múltiples aristas de filo de cuchillo para realizar los cálculos de pérdidas por difracción, al contrario del modelo de Bullington que utiliza únicamente un obstáculo para realizar los cálculos. Los demás modelos, a pesar de ser los más comunes y conocidos, no operan para frecuencias mayores a 3GHz como es el caso de los modelos Hata y Hata COST321 que han sido descartados. Además, estos modelos realizan solo una aproximación de las alturas (perfil) de los edificios entre el emisor y el receptor, mientras que el modelo DEYGOUT utiliza las medidas reales de las alturas de los edificios para realizar los cálculos [15].

Para la zona rural se utiliza el modelo SUI ya que es el más apropiado para lugares con alta densidad de árboles y zonas montañosas. En las secciones anteriores se analizó este modelo y se sabe que realiza sus cálculos basado en tres tipos de terreno A, B, y C, además que es muy simple al no utilizar muchos parámetros en sus simulaciones y fue el primer modelo de propagación recomendado por el estándar IEEE 802.16 para redes WiMAX [30].

2.8 Parámetros de planificación de una red WiMAX móvil

Los parámetros de planificación y optimización de una red WiMAX son principalmente dos. El primer objetivo es minimizar la interferencia causada por las BTSs individuales, mientras se mantenga una cobertura suficiente sobre un área de planificación. En general esto se realiza por medio de cambios que necesitan ser balanceados, por ejemplo el tilt muy bajo de la antena puede causar poca cobertura, pero por el contrario puede ayudar a evitar la interferencia con las BTSs vecinas y esto aumenta potencialmente la capacidad de la red. El segundo objetivo es la distribución de tráfico entre las BTSs. Es deseable mantener una carga similar entre las celdas vecinas para minimizar las probabilidades de bloqueo y para maximizar las capacidades de reserva para las fluctuaciones de tráfico y la futura evolución de tráfico.

El parámetro más efectivo en la optimización de la red es el tilt. El tilt de la antena se debe establecer de tal forma que el tráfico dentro de la misma BTS pasa con la máxima ganancia, pero al mismo tiempo la interferencia entre las BTSs vecinas se minimiza. Las inclinaciones posibles para el tilt son típicamente restringidas por razones técnicas y de ingeniería civil debido a la distribución de las edificaciones, la ubicación de las antenas y sus alturas. Especialmente en el caso de colocarse en sitios con antenas multibanda podría haber fuertes restricciones sobre los posibles ángulos de inclinación que deberán ser tomadas en cuenta durante la optimización [30].

La transmisión de potencia del canal piloto y las demás potencias de canal común, las cuales están típicamente acopladas por un desplazamiento fijo, también son parámetros muy importantes en la optimización de la red. Se debe asegurar que estos canales se reciban con la suficiente calidad por todos los usuarios dentro de la BTS. Al mismo tiempo, una minimización en la potencia del canal común permitirá obtener un aumento significativo de la ganancia: Primeramente, la potencia adicional perteneciente a otros canales disponibles (tráfico del usuario), y secundariamente, la interferencia se reduce. Las ganancias obtenidas de la disminución de la potencia piloto son casualmente subestimadas. Es importante notar que el límite de la capacidad de la red WiMAX (por ejemplo, en áreas urbanas) la reducción de los niveles de la potencia piloto por un factor certero también reduce la potencia total transmitida de la BTS y como consecuencia la carga de la BTS se incrementará en el mismo factor.

La optimización de los ángulos de azimuth de las antenas sectoriales de la BTS es muy importante, en particular en el caso de antenas con el ancho de haz horizontal pequeño (por ejemplo, 65° vs 90° en el caso de antenas de tres sectores). En este caso, la diferencia entre la ganancia de la antena en la dirección del lóbulo principal y el ángulo medio entre los sectores vecinos es comparativamente grande, y los sectores de las BTSs vecinas deberán ser configurados de forma que se obtenga la máxima cobertura. Se ha observado que durante la optimización de azimuth los problemas de cobertura se reducen considerablemente. De la misma forma que para el tilt, también existen fuertes restricciones para el caso de los azimuth [30].

La altura de la antena también es un parámetro de optimización. Las alturas de las antenas pueden proporcionar mejor cobertura, pero por otro lado puede causar mayor interferencia. Adicionalmente se tienen parámetros importantes como el tipo de antena y el número de sectores por BTS. Ambos parámetros están muy emparejados, el alto número de sectores también sugiere el uso de un patrón de

radiación con el ancho del haz horizontal pequeño. La elección de la sectorización es típicamente un pacto entre el incremento de la capacidad de la red y el alto costo monetario.

2.9 Análisis de estándares sobre WiMAX

Según la UIT-R F.1399-1 El acceso inalámbrico se puede considerar desde distintas perspectivas, por ejemplo:

- Capacidades de movilidad del terminal: fijo, nómada (el terminal se puede utilizar en diferentes lugares, pero debe estar estacionario mientras se utiliza), móvil, movilidad restringida (por ejemplo, dentro de una sola célula), etc.
- Capacidades de soporte de servicio: banda estrecha, banda ancha, multimedios, etc.
- Tipo de servicio de telecomunicación: Voz sobre IP, datos, transferencia de archivos.
- Tecnología de transmisión radioeléctrica: técnica de acceso, técnica de modulación (analógica, digital, etc.). Técnica dúplex (FDD, TDD), etc.
- Mecanismo de entrega: terrenal, satélite.

La recomendación de WiMAX Forum *Input on working document towards preliminary draft new report ITU-R s.[BWA-FSS]* especifica los parámetros permitida para redes de banda ancha inalámbrica tanto para la estación base y para la estación móvil.

Cuadro 2.7: Parámetros de la Estación Base para redes de banda ancha inalámbrica [11]

Escenario de Implementación	Escenario Rural	Escenario Urbano
Potencia (dBm)	43	32
Pérdidas por cable	3	3
Ganancia Antena	17	9

Cuadro 2.8: Parámetros de la Estación Móvil para redes de banda ancha inalámbrica [11]

Escenario de Implementación	Escenario Indoor	Escenario Outdoor
Potencia (dBm)	26	26
Pérdidas por cable	1	1
Ganancia Antena	17	5

Según en la recomendación ITU-T –REC-800 la disponibilidad debe ser mayor a 99 %, además hace referencia a la calidad de servicio que comprende dos criterios:

el primero es la calidad de funcionamiento de la red y calidad de servicio, según [19] hay cuatro ejes principales de la calidad de servicio.

1. Requisitos de QoS del usuario/cliente (QoSR)
2. QoS ofrecida/planificada por el proveedor de servicios (QoSO)
3. QoS proporcionada/lograda por el proveedor de servicio (QoSD)
4. QoS experimentada/percibida por el cliente/usuario (QoSE)

En la Figura 2.27 se muestra la relación entre los ejes de la calidad de servicio.

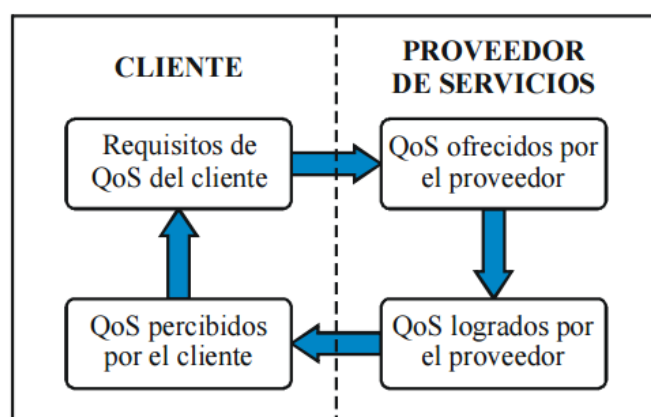


Figura 2.27: Cuatro ejes de la calidad de servicio [19]

Estudio Técnico para el mejoramiento de la calidad de servicio a los usuarios de la Red WiMAX en Cuenca

3.1 Introducción

Este capítulo presenta el proceso de mejoramiento de la calidad de servicio de la red WiMAX de la ciudad de Cuenca por medio de indicadores de rendimiento se evalúa el servicio en un usuario RSSI (*received signal strength indicator* - Indicador de intensidad de señal recibida) y CINR (*Carrier to Interference+Noise Ratio* - Interferencia de portadora mas ruido), se realizó el mejoramiento en varias etapas descritas a continuación.

1. **Levantamiento de información de la red WiMAX:** se analizó el estado actual de la red, adicionalmente se realizaron mediciones en cada BTS de azimuts (apuntamiento) y ángulos de inclinación de las antenas transmisoras, para realizar la simulación con parámetros reales; esto se describe en el apartado 3.2.
2. **Cálculo de rendimiento de la red:** en este apartado se calculó el tráfico soportado por cada BTS. Para esta parte se utilizaron las características propias de la red que fueron proporcionados por ETAPA y Huawei. Aplicando en las fórmulas que se presentan en la sección 3.3 se encontró la velocidad tanto de bajada como de subida para cada modulación que utiliza la red. En la revisión de marco teórico se especificó que la red utiliza modulación adaptativa.
3. **Selección del software de simulación.** se efectúa una comparación entre RADIO MOBILE, ATOLL e ICS TELECOM para realizar la simulación de la red WiMAX de ETAPA EP, concluyendo que ICS TELECOM es el software capaz de simular la red WiMAX, la agencia de regulación y control de las telecomunicaciones (ARCOTEL) fue la entidad regulatoria que nos facilitó ICS TELECOM (descrita en el apartado 3.4).

4. **Simulación de la red WiMAX:** se realizó la simulación de la red WiMAX usando ICS TELECOM primero con parámetros de Huawei, después con los parámetros medidos, para comparar entre la red con parámetros de Huawei y la red con parámetros medidos, a partir de este punto se tomaron en cuenta las simulaciones con datos medidos ya que son valores reales. Al analizar la simulación de RSSI se encontraron zonas donde no hay cobertura y donde el valor de RSSI es bajo, de igual manera la simulación de CINR se encontró zonas donde los valores de interferencia son altos.
5. **Evaluación de resultados de simulación y pruebas de campo:** Después de la simulación de cobertura del estado actual de la red se realizó pruebas de campo mediante un recorrido en automóvil por toda la ciudad para determinar las zonas donde no hay conexión a Internet en la red WiMAX móvil y comprobar las predicciones del software en zonas donde no hay conexión a Internet, los motivos por los que se pierde la conexión son debido a portadoras iguales cubriendo el mismo sector, el nivel de potencia bajo que llega a la estación móvil (RSSI), además la falla de traspaso entre celdas (handoff) entre sectores, se verificó el proceso de handoff entre cada sector de cada BTS por medio del gestor M2000, se comprobó las pérdidas por trayectoria, estos pasos descritos en el apartado 2.7. Además se efectuó un análisis de usuarios fijos enganchados a la red que podrían verse afectados al realizar las modificaciones planteadas.
6. **Propuesta de ajustes en la red WiMAX para el mejoramiento de calidad de servicio:** Una vez analizado las zonas donde no hay cobertura y la capacidad de la red WiMAX se propone ajustes de la red. Con el software ICS TELECOM se simuló una nueva red mejorada modificando parámetros de la red descritos en el capítulo anterior apartado 2.8, esto implica una propuesta describiendo las modificaciones de las BTS, configuración de vecindades para realizar handoff entre sectores, ángulos de inclinación y azimuts.
7. **Implementación y evaluación de la red propuesta en las BTSs Centro Escuela Allende y Mueblería Vera Vásquez:** Luego de analizar las propuestas para la nueva red se procedió con la implementación en las BTSs de Centro, Escuela Allende y Mueblería Vera Vásquez. Se procedió a analizar los resultados de la red luego de las modificaciones para determinar en qué porcentaje ha mejorado o cómo ha cambiado la red. Finalmente, se analizaron los cambios en los usuarios con equipos fijos.

3.2 Levantamiento del estado actual de la red WiMAX de la zona urbana de Cuenca

La Red WiMAX en Cuenca ha sido implementada en algunas etapas, con la creciente demanda de usuarios fue incrementando cada vez mas hasta ser distribuida por toda la ciudad, como consecuencia la instalación de nuevas BTS. La concesión de frecuencias para esta red fue resuelta a finales del año 2010. Según la resolución TEL-815-27- CONATEL-2010. Resolvió:

ARTÍCULO UNO.- Avocar conocimiento del informe final de la consultoría contratada con ASETA para la "Valoración del sub-bloque D1(3475 MHz - 3485.75 MHz) - D1'(3575 MHz -3585.75 MHz) en el cantón Cuenca y establecimiento de un modelo para futuras valoraciones para concesiones regionales, provinciales y cantonales", remitida al Consejo mediante oficio No. SNT-2010-1434 del 16 de diciembre del 2010.

ARTÍCULO DOS.- Aprobar el informe final de la consultoría contratada con ASETA mediante contrato No. DGJ-2010-39 del 30 de noviembre del 2010.

ARTÍCULO TRES.- Aprobar el valor de USO 70.755,00 (SETENTA MIL SETECIENTOS CINCUENTA Y CINCO 00/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA) como derechos de concesión del Sub-bloque D0 (3475 MHz - 3485.75 MHz) - D1' (3575 MHz - 3585.75 MHz) en el cantón Cuenca.

ARTÍCULO CUATRO.- Autorizar a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones para que previo el pago de los Derechos de Concesión que se detallan en el articulo tres de esta Resolución, y el cumplimiento de los requisitos pertinentes. suscriba el Contrato de Concesión de uso de Frecuencias con la empresa ETAPA EP para concesión del sub-bloque D1 (3475 MHz- 3485.75 MHz) - D1' (3575 MHz - 3585.75 MHz) en el cantón Cuenca.

ARTICULO CINCO.- Notificar del contenido de esta Resolución a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, Superintendencia de Telecomunicaciones y a la empresa pública ETAPA EP. [2].

3.2.1 Información de los parámetros de la red WiMAX

La información de los parámetros de la red WiMAX como potencia, azimuts, tilts, identificadores de sectores, altura de cada BTS, identificador de BTS, fue otorgada por ETAPA EP, la información fue obtenida en el momento de la implementación de la red por parte de la empresa Huawei Technologies Co. Ltd. Para realizar este proyecto con datos reales se midió los parámetros de angulo de inclinación y azimuts de las antenas transmisoras de cada BTS.

El número de BTS tomadas en cuenta fueron cuarenta, cabe mencionar que la configuración de antenas es trisectorial, por lo tanto se levantó información de ciento veinte sectores, los sectores de cada BTS están enumerados desde el cero a dos, el sector cero por lo general apunta al norte, se realizaron las mediciones con los equipos necesarios como la brújula para azimuts marca SUUNTO MCA y con un inclinómetro analógico para medir los valores de los ángulos de inclinación. En la Figura 3.1 se puede observar los equipos de medición utilizados.



Figura 3.1: Equipos para medir ángulo de inclinación de las antenas (izquierda) y azimuts (derecha)

Se realizó un cronograma para medir los parámetros de cada BTS ya que están distribuidas por toda la ciudad, las mediciones se realizaron dependiendo la ubicación de las BTS, por eso se realizaban mediciones por zonas, esto se efectuó entre el mes de noviembre y diciembre del 2015. Se comenzó por el Centro Histórico conformada por seis BTSS, luego se por las zonas del Terminal Terrestre, Aeropuerto hasta llegar a Ucubamba, y finalizando por las zonas de Arenal, Crea hasta llegar a Narancay. Los nombres de las BTS son de acuerdo a la ubicación en la ciudad, como se mencionó anteriormente en el presente proyecto se trabajo con cuarenta BTS, en el cuadro 3.1 muestra las BTS mencionadas.

Cuadro 3.1: BTS WiMAX de la zona urbana de Cuenca

Nombre BTS	Altura	Longitud	Latitud
Américas	15	79°0'39"W	2°53'19,99"S
Arenal	40	79°2'3"W	2°53'46"S
Baños	40	79°3'47"W	2°55'8"S
Cámara de Industrias	51	79°0'11"W	2°54'20"S
Cebollar	24	79°1'21,65"W	2°52'54,09"S
Centro	30	79°0'17"W	2°53'53"S
Colegio de Ingenieros 1	30	78°57'20"W	2°53'10"S
Colegio de Ingenieros 2	30	78°57'49"W	2°53'24"S
Crea	40	79°1'44,04"W	2°54'17"S
Cristo Rey	24	79°0'10"W	2°53'11"S
Don Bosco	24	79°1'22"W	2°54'58"S
El Reloj	30	79°1'13"W	2°54'28"S
El Tejar	30	79°1'43"W	2°53'17"S
El Tiempo	24	79°1'57"W	2°54'55"S
El Volante	21	78°58'58"W	2°53'5"S
Empresa Eléctrica	24	78°59'0"W	2°54'26"S
Equindencia	27	79°1'20"W	2°53'23"S
Escuela Allende	30	79°0'5,22"W	2°53'52,4"S
Escuela Panamá	24	79°0'56"W	2°54'16"S
La Merced	30	78°55'32,45"W	2°50'58,96"S
Mall del Rio	30	79°0'49,64"W	2°55'2,14"S
Mirador del Rio	40	79°1'7,5"W	2°53'29,58"S
Mueblería Vera Vázquez	21	79°0'32"W	2°53'39"S
Narancay	40	79°2'32,34"W	2°55'39,75"S
Oftalmolaser	20	79°0'38"W	2°54'36"S
Olimpo Mercurio	33	79°2'24,47"W	2°54'55,51"S
Parque Industrial	40	78°59'3,32"W	2°52'28,67"S
Parque Victoria	24	78°59'57"W	2°53'10"S
Patamarca	40	78°59'10"W	2°51'51"S
Quifatex	20	79°1'16"W	2°53'51"S
Ricaurte	40	78°57'58,14"W	2°52'37,67"S
Ricaurte Mercado	30	78°57'47,99"W	2°51'41"S
Sayausi	40	79°3'19,54"W	2°52'59,8"S
Talleres	24	78°59'44"W	2°54'21"S
Terminal	30	78°59'34,31"W	2°53'31,84"S
Totoracocha	40	78°59'18"W	2°53'49"S
Curtiembre	30	78°58'16"W	2°53'39"S
Ucubamba	40	78°56'34,45"W	2°52'35,84"S
Universidad del Azuay	24	78°59'58"W	2°55'3"S
Yanuncay	30	79°0'5,62"W	2°54'45,04"S

Después de realizar las mediciones de azimut y tilts en la Red WiMAX de Cuenca, se comparó los valores medidos con los valores de Huawei. En el cuadro 3.2 se observa los parámetros medidos y los parámetros de Huawei. Según el cuadro 3.2 los parámetros de azimuts medidos en la mayoría de BTS son iguales a los de Huawei, hay casos donde la diferencia es de hasta 20 grados como es el caso en las BTS de Baños, El Arenal, El Volante, La Merced, Ucubamba. Las diferencias entre valores medidos y de Huawei son de acuerdo a la lectura de los datos de la

brújula de azimuts. En el mismo cuadro presenta los valores medidos del tilt y valores del tilt de Huawei, se muestra que estos valores en la mayoría de BTS son iguales, hay casos en donde la variación de tilt es 1 hasta 3 grados.

Cuadro 3.2: Parámetros de Huawei y medidos de azimuts y tilts

Sector	Frecuencia	Azimut (°) Huawei	Tilt (°) Huawei	Azimut (°) Mediciones	Tilt (°) Mediciones
Americas_0	3492.5	10	0	10	0
Americas_1	3582.5	110	-3	110	-3
Americas_2	3592.5	240	-5	240	-5
Arenal_0	3482.5	20	-3	35	-3
Arenal_1	3492.5	130	-5	140	-4
Arenal_2	3582.5	240	-2	260	0
Baños_0	3592.5	110	-5	105	-5
Baños_1	3482.5	215	-1	175	0
Baños_2	3492.5	350	-2	10	0
Camara de Industrias_0	3582.5	75	-3	70	-4
Camara de Industrias_1	3592.5	190	-5	200	-5
Camara de Industrias_2	3482.5	295	-5	310	-5
Cebollar_0	3592.5	25	-2	30	0
Cebollar_1	3582.5	125	-6	125	-5
Cebollar_2	3482.5	270	-2	280	-2
Centro_0	3592.5	40	-2	50	0
Centro_1	3492.5	140	-6	150	5
Centro_2	3482.5	280	-4	275	-5
Ingenieros 1_0	3492.5	60	-3	50	-5
Ingenieros 1_1	3592.5	230	-3	220	-5
Ingenieros 1_2	3582.5	300	-1	285	0
Ingenieros 2_0	3482.5	70	-4	70	-3
Ingenieros 2_1	3492.5	190	-4	195	-5
Ingenieros 2_2	3582.5	305	0	305	-2
Crea_0	3582.5	50	-2	40	0
Crea_1	3592.5	150	-6	140	-5
Crea_2	3482.5	260	-3	260	-1
Cristo Rey_0	3582.5	0	0	0	-1
Cristo Rey_1	3492.5	170	-3	180	-5
Cristo Rey_2	3482.5	270	0	260	-5
Don Bosco_0	3592.5	25	-5	30	-3
Don Bosco_1	3492.5	170	-4	170	-3
Don Bosco_2	3482.5	290	-3	300	-2
El Reloj_0	3492.5	20	-5	30	-5
El Reloj_1	3582.5	115	-5	120	-5
El Reloj_2	3482.5	280	-4	270	-5
El Tejar_0	3492.5	40	-2	35	-2
El Tejar_1	3582.5	180	-4	170	-4
El Tejar_2	3592.5	290	-2	280	-3,5
El Tiempo_0	3492.5	25	-2	25	0
El Tiempo_1	3592.5	153	-2	160	-5
El Tiempo_2	3582.5	270	-3	260	0
El Volante_0	3492.5	45	-3	40	-5
El Volante_1	3482.5	150	-2	145	-2
El Volante_2	3592.5	275	-3	260	-2
Empresa Electrica_0	3582.5	70	-1	70	2

Continúa en la página siguiente.

Sector	Frecuencia	Azimut (°) Huawei	Tilt (°) Huawei	Azimut (°) Mediciones	Tilt (°) Mediciones
Empresa Electrica _1	3592.5	180	0	190	0
Empresa Electrica _2	3482.5	290	-3	290	-3,5
Equindenca _0	3492.5	50	-4	60	-5
Equindenca _1	3482.5	240	-6	241	0
Equindenca _2	3592.5	310	-1	310	-4
Escuela Allende _0	3492.5	75	-5	75	-5
Escuela Allende _1	3592.5	160	-4	155	-4
Escuela Allende _2	3482.5	350	-4	350	-5
Escuela Panama _0	3592.5	35	-5	30	-5
Escuela Panama _1	3492.5	105	-3	100	-5
Escuela Panama _2	3582.5	290	-4	290	-5
La Merced _0	3492.5	115	-3	85	-3
La Merced _1	3582.5	200	-3	210	-4
La Merced _2	3482.5	290	0	270	0
Mall del rio _0	3592.5	60	-3	45	-4
Mall del rio _1	3582.5	210	-5	220	-2
Mall del rio _2	3482.5	285	-3	280	0
Mirador del Rio _0	3482.5	45	-1	50	0
Mirador del Rio _1	3592.5	170	-4	160	-5
Mirador del Rio _2	3582.5	240	-4	250	-5
Muebleria Vera _0	3592.5	20	-4	10	-3
Muebleria Vera _1	3492.5	100	-4	92	-5
Muebleria Vera _2	3582.5	230	-3	240	-4
Narancay _0	3482.5	5	-5	20	-5
Narancay _1	3582.5	110	-5	110	-5
Narancay _2	3492.5	210	-1	210	0
Oftalmolaser _0	3592.5	0	-4	355	-5
Oftalmolaser _1	3482.5	95	-3	85	-4
Oftalmolaser _2	3492.5	240	-3	240	-5
Olimpo Mercurio _0	3592.5	40	-3	40	-5
Olimpo Mercurio _1	3492.5	115	-3	105	-6
Olimpo Mercurio _2	3582.5	245	-3	240	-5
Parque Industrial _0	3592.5	345	-2	330	0
Parque Industrial _1	3582.5	90	-6	90	-5
Parque Industrial _2	3492.5	235	-4	230	-5
Parque Victoria _0	3482.5	70	-4	70	-10
Parque Victoria _1	3592.5	165	-5	150	-5
Parque Victoria _2	3492.5	320	-3	330	0
Patamarca _0	3492.5	0	-2	350	-2
Patamarca _1	3482.5	105	-5	120	-6
Patamarca _2	3582.5	235	0	245	-2
Quifatex _0	3492.5	65	-2	75	-5
Quifatex _1	3482.5	205	-1	200	0
Quifatex _2	3592.5	305	-2	290	-5
Ricaurte _0	3592.5	0	-3	0	-5
Ricaurte _1	3492.5	150	-7	150	-10
Ricaurte _2	3482.5	240	-4	240	-5
Ricaurte Mercado _0	3482.5	130	-4	115	0
Ricaurte Mercado _1	3582.5	230	-2	240	0
Ricaurte Mercado _2	3492.5	335	-2	335	0
Sayausi _0	3482.5	85	-2	100	-4
Sayausi _1	3582.5	250	-2	220	-5
Sayausi _2	3592.5	345	-2	335	2
Talleres _0	3482.5	0	-4	350	-2

Continúa en la página siguiente.

Sector	Frecuencia	Azimut (°) Huawei	Tilt (°) Huawei	Azimut (°) Mediciones	Tilt (°) Mediciones
Talleres_1	3492.5	100	-2	110	-2
Talleres_2	3592.5	240	-4	250	-5
Terminal_0	3582.5	80	-3	70	-1
Terminal_1	3482.5	240	-4	220	-5
Terminal_2	3492.5	350	0	0	0
Totoracocha_0	3492.5	30	-4	30	-2
Totoracocha_1	3592.5	120	-4	125	-2
Totoracocha_2	3582.5	240	-6	230	-5
Curtiembre_0	3482.5	70	-3	80	-2
Curtiembre_1	3492.5	235	-1	250	-3
Curtiembre_2	3592.5	340	-2	0	-4
Ucubamba_0	3592.5	20	-3	50	-3
Ucubamba_1	3482.5	240	-6	220	-4
Ucubamba_2	3492.5	305	-2	290	0
Universidad del Azuay_0	3492.5	90	0	80	0
Universidad del Azuay_1	3592.5	170	-1	160	0
Universidad del Azuay_2	3582.5	270	-3	260	0
Yanuncay_0	3582.5	70	-5	50	-5
Yanuncay_1	3482.5	125	-7	120	-5
Yanuncay_2	3492.5	240	-7	240	-5

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

En el cuadro 3.2 se puede notar cuatro colores, esos colores representan la frecuencia a la que transmite cada sector de cada BTS, 3492.5MHz representa el color amarillo, 3592.5MHz representa el color azul, 3582.5MHz representa el color verde, 3482.5MHz representa el color rojo. La red WiMAX de ETAPA EP está diseñada para evitar la interferencia entre sectores, esto implica que para cada sector es asignada una frecuencia diferente, pero hay sectores de BTSs vecinas que apuntan al mismo sector de cobertura con la misma frecuencia esto se analizará mas adelante. En la Figura 3.2 muestra la asignación de frecuencia en los sectores de cada BTS de la red WiMAX de ETAPA EP, también muestra las direcciones hacia donde apunta cada sector (azimuts).

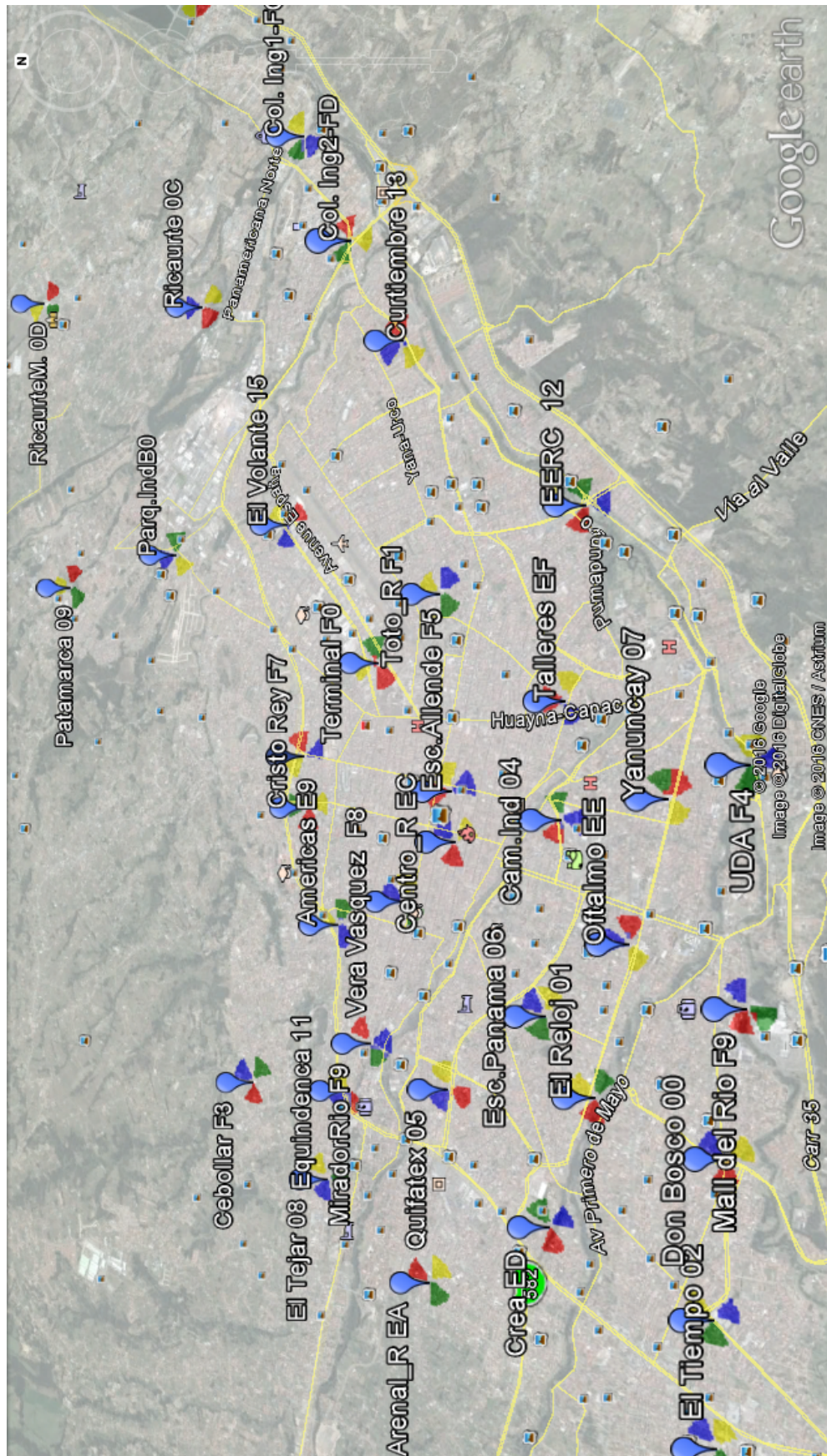


Figura 3.2: Frecuencias de los sectores de cada BTS WiMAX con sus azimuts.

Los parámetros generales de cada BTS que son iguales en cada sector se muestran en el cuadro 3.3. Los parámetros mencionados en la tabla anterior cada antena sectorial de una BTS tiene diferentes alturas que depende del tipo de estructura, torre, mono poste, o edificio en el cual se encuentra instalada. Las antenas trisectoriales transmisoras son tipo panel direccionales modelo SL12436A de la empresa Shenglu Telecommunication con las características del (Cuadro 3.4).

Cuadro 3.3: Parámetros generales de cada BTS WiMAX

Transmisor	
Configuración de las antenas	Trisectorial
Potencia (dBm)	38.4
Ganancia (dBi)	18
Ancho de banda (Mhz)	10
Número de BTSs	40
Número de sectores	120

Cuadro 3.4: Parámetros antena tipo panel WiMAX modelo SL12436A

Antena panel WiMAX modelo SL12436A	
Frecuencia de Operación (MHz)	3300-3800
Impedancia de Entrada	50 ohms
Tilt Eléctrico	2°
Dimension (mm)	850x290x102
Peso (Kg)	5.1
Potencia Máxima (W)	150
Temperatura de Trabajo (°C)	-40 a 60

El patrón de radiación tanto horizontal y vertical de la antena se muestra en la Figura 3.3, se observa que el patrón vertical contiene un lóbulo principal muy directivo con lóbulos secundarios considerables con potencia de 15 a 24 dB, mientras que en el patrón horizontal contiene un solo lóbulo principal y no contiene lóbulos secundarios.

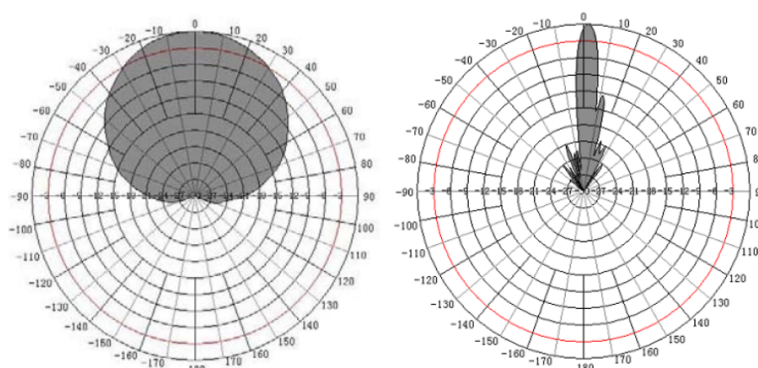


Figura 3.3: Patrón de radiación horizontal y vertical antena tipo panel WiMAX modelo SL12436A

3.2.2 Diseño actual de la Red WiMAX

La red WiMAX del presente proyecto esta distribuida por toda la ciudad de Cuenca. La arquitectura de la red como se ve en la Figura 3.4, está compuesta básicamente de:

- El controlador de radio bases, elementos de integración hacia el BRAS (*Broadband Remote Access Server*) que asigna direcciones IP a los usuarios autenticados. Y por último está los AAA existentes en ETAPA para los servicios de Internet; estos equipos están en el edificio central en el centro de Cuenca; el sistema de gestión de red se está ubicado en la central de Totoracocha.
- Las BTS OUTDOOR WiMAX instaladas son DBS3900 de Huawei.
- Se utiliza la red metro ethernet como backbone de transmisiones, todos enlaces de fibra óptica.
- Equipos terminales de usuario: CPEs para interiores y exteriores.

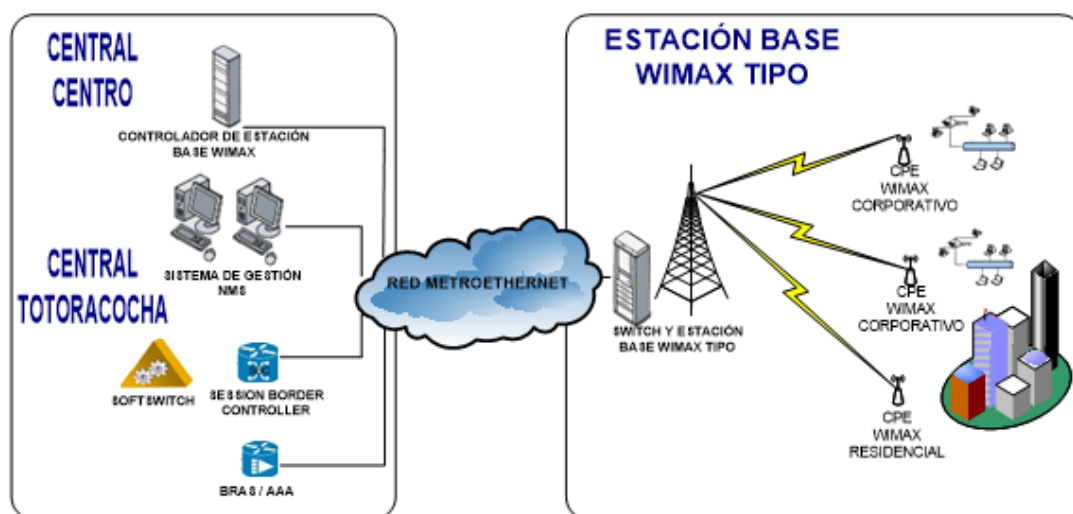


Figura 3.4: Arquitectura red WiMAX Cuenca

3.2.1.1 BTS Modelo DBS3900 WiMAX

Esta conformado por los equipos BBU3900, RRU3701C y RRU3702 (Figura 3.5). El equipo BBU3900 es una unidad de banda de base que realiza las siguientes funciones:

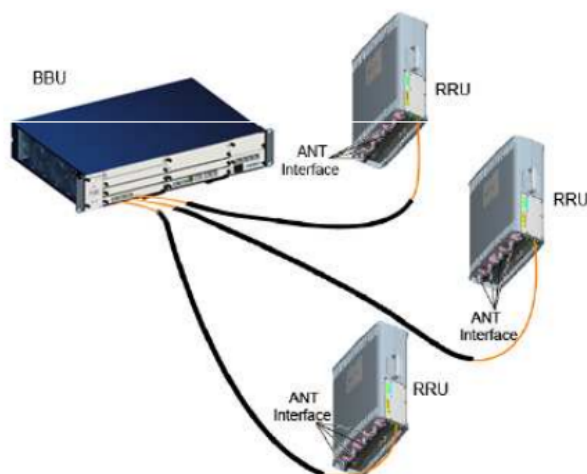


Figura 3.5: Componentes de la BTS DBS3900 [3]

- Proporciona puertos a la interfaz de radio pública común (CPRI) para la comunicación con RRU y procesa señales de enlace ascendente y enlace descendente de banda base. RRU es la abreviatura de unidad de radio remota.
- Proporciona un canal de operación y mantenimiento (OM) a la terminal de mantenimiento local (LMT) o M2000. iManager M2000. El M2000 es un sistema OM integrado, diseñado por Huawei.
- Proporciona puertos de reloj para la sincronización de los relojes, los puertos de monitoreo de alarmas para el monitoreo de la red, y un puerto de bus serie universal (USB). La seguridad del puerto USB está garantizada por el cifrado. [3].

En el cuadro 3.5 se muestra las especificaciones del equipo BBU3900

Cuadro 3.5: Especificaciones de ingeniería de la BBU3900 [3]

Característica	Especificación
Voltaje	-48 V DC (de -38.4 V DC a -57 V DC)
Dimensiones (alto x ancho x profundidad)	86 mm x 436 mm x 310 mm
Consumo de Potencia	≤ 300 W
Temperatura Ambiente	de $-20^{\circ}\text{C}[+14^{\circ}\text{F}]$ a $+55^{\circ}\text{C}[+131^{\circ}\text{F}]$

El equipo RRU3701C y RRU3702 contienen el módulo funcional de frecuencia intermedia (FI), el módulo de RF, el módulo duplexor, el módulo de amplificación de potencia y el módulo de alimentación. La diferencia entre estos dos equipos es

que el RRU3701C contiene el módulo del ventilador para la refrigeración, mientras que el RRU3702 no contiene el módulo de ventilador, su refrigeración se realiza con entrada de aire exterior. las especificaciones de los equipos se muestra en el cuadro 3.6 y en el cuadro 3.7 se muestra las especificaciones de confiabilidad del equipo .

Cuadro 3.6: Especificaciones de ingeniería de la RRU3701C [3]

Característica	Especificación
Voltaje	-48 V DC (de -38.4 V DC a -57 V DC)
Dimensiones (alto x ancho x profundidad)	560 mm x 435 mm x 202 mm
Peso del Gabinete	<= 22 kg (ventiladores de disipación de calor) <= 20 kg (ventiladores naturales de disipación de calor)
Consumo de Potencia	<= 280 W
Temperatura Ambiente	de -40°C a +52°C

Cuadro 3.7: Especificaciones de confiabilidad [3]

Característica	Especificación
Disponibilidad	>= 99.999 %
Tiempo promedio entre fallas (Mean Time Between Failures - MTBF)	300000 horas
Tiempo promedio de reparación (Mean Time To Repair - MTTR)	<= 1 hora (excluyendo del tiempo necesario para que los ingenieros lleguen al sitio) <= 3 horas (excluyendo del tiempo necesario para que los ingenieros lleguen al sitio)

3.2.1.2 Equipos de usuario

Los CPEs para exterior comprende la antena instalada en el exterior del hogar del cliente y está conectado con el equipo interior que se encuentra dentro del hogar del cliente. Hay una gran variedad de estos equipos para distintas frecuencias y entornos, para el caso de la banda de frecuencia de 3500MHz para este proyecto son los siguientes equipos:

- **El HES-319M2W-ODU Y El HES-319M2W-IDU** Es de fácil instalación y alto rendimiento en diferentes entornos. La tecnología MIMO incrementará la cobertura y ancho de banda. este equipo tiene las siguientes características:
 - El estándar de referencia: IEEE 802.16e-2005 SOFDMA / TDD
 - Frecuencia: 3.4 3.6 GHz.
 - Ancho de banda de canal: 5/7/10 MHz.
 - Modulación DL: QPSK, 16QAM, 64QAM.
 - Modulación UL: QPSK, 16QAM.

- Potencia máxima de salida en el puerto de la antena: Típico 26 dBm.
- Sensibilidad: -96 dBm con modulación QPSK 1/2.
- Rendimiento hasta 20 Mbps [7].

En la Figura 3.6 se muestra el equipo exterior e interior



Figura 3.6: CPE modelo 319M2W exterior e interior [7]

- **Antena Exterior ARP-DP(3400-3600)-14-40** La antena panel está diseñado para el sistema de acceso inalámbrico. Posee alta ganancia, estructura fuerte, resistente al agua, fácil instalación. Este equipo tiene las siguientes características.

- Rango de frecuencia MHz 3400-3600
- Ancho de banda 200 MHz
- Ganancia 14 dBi
- VSWR ≤ 1.5
- Impedancia de entrada 50 - Potencia Máxima 20W [3]

Características del equipo interior SWC-9200:

- Rango de frecuencia MHz 3400-3600
- Ancho de Banda del Canal 5, 7 y 10MHz
- Máximo Rendimiento DL: 40Mbps / UL: 8Mbps
- Sensibilidad en el equipo Receptor -95dBm
- WiFi IEEE 802.11b/g/n - Seguridad WiFi WPA / WPA2, WEP64 / WEP 128 - Potencia Transmisión 27dBm [3]

En la Figura 3.7 se muestra el equipo exterior e interior



Figura 3.7: CPE modelo ARP-DP(3400-3600)-14-40

■ **Equipo interior HUAWEI BM635 WiMAX CPE**

BM635 le permite no sólo para configurar una red de área local (LAN), también permite acceder a Internet en un modo inalámbrico. Además, soporta WiFi que es un sistema de comunicación de datos flexible por la interfaz de aire en lugar de cable tradicional dentro de un edificio o en otros lugares pequeños. El equipo tiene las siguientes especificaciones:

- Compatible con hasta 10 Mbps de rendimiento del enlace de bajada y hasta 3 Mbps de rendimiento de enlace subida.
- El apoyo de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO)
- Proporcionar cuatro puertos RJ45 y dos puertos RJ11
- Proporcionar una interfaz de usuario web amigable y abundante información de ayuda.
- Apoyar la voz sobre IP (VoIP) basada en el protocolo de iniciación de sesión (SIP).
- Apoyo a la tecnología de compresión de voz.
- Acceso Nomádico, lo que permite a los usuarios acceder a la red en cualquier momento y en cualquier lugar [7].

En la Figura 3.8 se muestra el equipo descrito.

■ **HUAWEI BM338 WiMAX USB**

La velocidad máxima de descarga de este dispositivo es de 15 Mbps en teoría

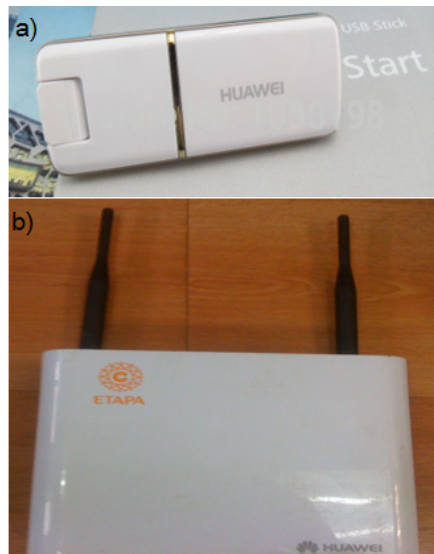


Figura 3.8: a) WiMAX usb BM338. b) Equipo interior HUAWEI BM635

y mediante pruebas la velocidad de descarga es de 5 Mbps. El equipo tiene las siguientes características (Figura 3.8).

- Interfaz Aire WiMAX IEEE 802.16e-2005.
- Rango de frecuencia 3,4-3,6GHz.
- Soporta MIMO 2RX 1TX.
- Interfaz de usuario amigable.
- Gestión de QoS [7].

3.3 Determinación de requisitos, cálculos de tráfico y capacidad

Para realizar el cálculo de tráfico de las BTSs se partirá de la teoría sobre la modulación adaptativa y la técnica de acceso OFDMA explicadas en la sección 2.3.3. También se utilizará los datos de los parámetros de la red detallados en los cuadros 2.2 y 2.4. Los cálculos realizados se muestran a continuación.

Frecuencia de muestreo

$$Fs = (\text{Ancho de banda de canal}) * (\text{Factor de muestreo})$$

$$Fs = 10MHz * \frac{28}{25} = 11,2MHz \quad (3.1)$$

Espaciamiento de frecuencia entre las subportadoras

$$\Delta f = \frac{F_s}{\text{Número de subportadoras}}$$

$$\Delta f = \frac{11,2MHz}{1024} = 10,9375KHz \quad (3.2)$$

Tiempo de símbolo

$$T_s = \frac{1}{\Delta f} = \frac{1}{10,9375KHz} = 91,42\mu s \quad (3.3)$$

Tiempo de guarda

$$T_g = T_s * Prefijo \text{ cíclico} = 91,42\mu s * \frac{1}{8} = 11,42\mu s \quad (3.4)$$

Duración del símbolo OFDMA

$$T_o = T_s * T_g = 91,42\mu s + 11,42\mu s = 102,84\mu s \quad (3.5)$$

Slot Físico

$$PS = \frac{4}{F_s} = \frac{4}{11,2MHz} = 0,357\mu s \quad (3.6)$$

Duración del TTG (Transmission Transition Gap) intervalo de transición entre recepción y transmisión [9], [16]

$$TTG = 296 * PS = 296 * 0,357\mu s = 105,67\mu s \quad (3.7)$$

Duración del RTG (Reception Transition Gap) intervalo de transición entre recepción y transmisión [9], [16]

$$RTG = 168 * PS = 168 * 0,357\mu s = 59,98\mu s \quad (3.8)$$

Duración de la subtrama DL

$$T_{DL} = 28 \text{símbolos OFDMA} * T_o = 28 * 102,84\mu s = 2,87ms \quad (3.9)$$

Duración de la subtrama UL

$$T_{UL} = 9 \text{símbolos OFDMA} * T_o = 9 * 102,84\mu s = 0,925ms \quad (3.10)$$

Duración del Header (cabecera)

$$T_H = 11 \text{ símbolos OFDMA} * T_o = 11 * 102,84 \mu s = 1,13 ms \quad (3.11)$$

Duración de la trama TDD

$$T_T = T_{DL} + T_{UL} + T_H + TTG + RTG = 5,09 ms \quad (3.12)$$

Todos los valores antes calculados se pueden encontrar en el cuadro 2.2 que ha sido proporcionado por HUAWEI indicando las características propias con las que opera la red WiMAX en cuestión. Con los parámetros antes mencionados se procede a calcular el tráfico para cada BTS. El número de subportadoras de datos utilizadas se obtiene del cuadro 2.4.

Para el tráfico de descarga (DL) se utilizan las siguientes ecuaciones [9], [16]

$$\begin{aligned} \text{Bits subtrama DL} &= \text{número de portadoras de datos} * M \\ &* \text{bits de codificación} \\ &* \text{número símbolos DL} \end{aligned} \quad (3.13)$$

M: orden de la modulación utilizada

$$\text{Tramas por segundo} = \frac{1 \text{ trama}}{\text{Duración de la trama}} \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned} \text{Throughput DL} &= \text{Bits subtrama DL} \\ &* \text{número de tramas por segundo} \end{aligned} \quad (3.15)$$

Para el tráfico de subida (UL) se utilizan las siguientes ecuaciones

$$\begin{aligned} \text{Bits subtrama UL} &= \text{número de portadoras de datos} * M \\ &* \text{bits de codificación} \\ &* \text{número símbolos UL} \end{aligned} \quad (3.16)$$

M: orden de la modulación utilizada

$$\begin{aligned} \text{Throughput UL} &= \text{Bits subtrama UL} \\ &* \text{número de tramas por segundo} \end{aligned} \quad (3.17)$$

Los valores de M (orden de la modulación utilizada) se pueden ver en el cuadro 3.8

Cuadro 3.8: Especificaciones para cada modulación

Modulación	M (Orden de la modulación)	Tasa de codificación
BPSK	1	1/2
BPSK	1	3/4
QPSK	2	1/2
QPSK	2	3/4
16 QAM	4	1/2
16 QAM	4	3/4
64 QAM	6	2/3
64 QAM	6	3/4

Como ilustración se realizarán los cálculos tanto para DL como para UL con la modulación 64 QAM con una tasa de codificación de $\frac{3}{4}$. Se reemplazan valores en las ecuaciones anteriores de la siguiente manera.

$$Tramas \text{ por segundo} = \frac{1}{5,1 \text{ ms}} \frac{trama}{ms} = 195,88 \frac{tramas}{seg} \quad (3.18)$$

Tráfico DL

$$Bits \text{ subtrams DL} = 720 * 6 * \frac{3}{4} * 28 = 90720 \frac{bits}{trama} \quad (3.19)$$

$$Throughput \text{ DL} = 90720 * 195,88 = 17770233,6bps \approx 17,77Mbps \quad (3.20)$$

Tráfico UL

$$Bits \text{ subtrams UL} = 560 * 6 * \frac{3}{4} * 9 = 22680 \frac{bits}{trama} \quad (3.21)$$

$$Throughput \text{ UL} = 22680 * 195,88 = 4442558,4bps \approx 4,44Mbps \quad (3.22)$$

Los cálculos realizados para las demás modulaciones se muestran en el cuadro 3.9

3.3.1 Cálculo de velocidad de navegación

Para realizar el cálculo de la velocidad de navegación de los usuarios de la red, fue necesario extraer desde el gestor M2000 la cantidad de usuarios conectados a cada BTS de la red. La extracción de los datos se realizó en horas de la noche con el objetivo de obtener datos de hora pico, sin embargo la cantidad de usuarios

Cuadro 3.9: Tráfico para las diferentes modulaciones

Modulación	M	Tráfico DL	Tráfico UL
BPSK 1/2	1	1,79Mbps	493,62Kbps
BPSK 3/4	1	2,96Mbps	740,42Kbps
QPSK 1/2	2	3,95Mbps	987,23Kbps
QPSK 2/3	2	5,92Mbps	1,32Mbps
16 QAM 1/2	4	7,9Mbps	1,97Mbps
16 QAM 3/4	4	11,85Mbps	2,96Mbps
64 QAM 2/3	6	15,79Mbps	3,95Mbps
64 QAM 3/4	6	17,77Mbps	4,44Mbps

conectados no varía mucho con el día. Se realizó un filtro de los usuarios para conocer cuantos usuarios están conectados a cada sector de la BTS y de esta manera calcular la velocidad de descarga que tendría cada usuario, el total de usuarios conectados fue 2091. En la cuadro 3.9 se presentaron los cálculos de la velocidad máxima de la red para cada modulación, que son utilizados en los cálculos que se presentan en el cuadro 3.10.

Cuadro 3.10: Cálculo de las velocidades de descarga (Mbps) dependiendo del número de usuario y la modulación utilizada

DATOS		Modulaciones utilizadas							
		64 QAM 3/4	64 QAM 2/3	16 QAM 3/4	16 QAM 1/2	QPSK 2/3	QPSK 1/2	BPSK 3/4	QPSK 1/2
		Máxima velocidad de descarga por modulación (Mbps)							
		17,77	15,79	11,85	7,9	5,92	3,95	2,96	1,79
BTS-Sector	# Usuarios	Velocidad de descarga de los usuarios (Mbps)							
Americas_0	1	17,77	15,79	11,85	7,9	5,92	3,95	2,96	1,79
Americas_1	7	2,54	2,26	1,69	1,13	0,85	0,56	0,42	0,26
Americas_2	2	8,89	7,90	5,93	3,95	2,96	1,98	1,48	0,90
Arenal_0	8	2,22	1,97	1,48	0,99	0,74	0,49	0,37	0,22
Arenal_1	24	0,74	0,66	0,49	0,33	0,25	0,16	0,12	0,07
Arenal_2	31	0,57	0,51	0,38	0,25	0,19	0,13	0,10	0,06
Baños_0	30	0,59	0,53	0,40	0,26	0,20	0,13	0,10	0,06
Baños_1	6	2,96	2,63	1,98	1,32	0,99	0,66	0,49	0,30
Baños_2	27	0,66	0,58	0,44	0,29	0,22	0,15	0,11	0,07
Cam. Industrias_0	6	2,96	2,63	1,98	1,32	0,99	0,66	0,49	0,30
Cam. Industrias_1	1	17,77	15,79	11,85	7,90	5,92	3,95	2,96	1,79
Cam. Industrias_2	2	8,89	7,90	5,93	3,95	2,96	1,98	1,48	0,90
Cebollar_0	25	0,71	0,63	0,47	0,32	0,24	0,16	0,12	0,07
Cebollar_1	9	1,97	1,75	1,32	0,88	0,66	0,44	0,33	0,20
Cebollar_2	14	1,27	1,13	0,85	0,56	0,42	0,28	0,21	0,13
Centro_0	5	3,55	3,16	2,37	1,58	1,18	0,79	0,59	0,36
Centro_1	8	2,22	1,97	1,48	0,99	0,74	0,49	0,37	0,22
Centro_2	7	2,54	2,26	1,69	1,13	0,85	0,56	0,42	0,26
Ingenieros 1_0	16	1,11	0,99	0,74	0,49	0,37	0,25	0,19	0,11
Ingenieros 1_1	3	5,92	5,26	3,95	2,63	1,97	1,32	0,99	0,60
Ingenieros 1_2	12	1,48	1,32	0,99	0,66	0,49	0,33	0,25	0,15
Ingenieros 2_0	0	17,77	17,77	17,77	17,77	17,77	17,77	17,77	17,77
Ingenieros 2_1	3	5,92	5,26	3,95	2,63	1,97	1,32	0,99	0,60
Ingenieros 2_2	25	0,71	0,63	0,47	0,32	0,24	0,16	0,12	0,07

Continúa en la página siguiente.

DATOS		Modulaciones utilizadas							
		64 QAM 3/4	64 QAM 2/3	16 QAM 3/4	16 QAM 1/2	QPSK 2/3	QPSK 1/2	BPSK 3/4	QPSK 1/2
		Máxima velocidad de descarga por modulación (Mbps)							
		17,77	15,79	11,85	7,9	5,92	3,95	2,96	1,79
BTS-Sector	# Usuarios	Velocidad de descarga de los usuarios (Mbps)							
Crea_0	20	0,89	0,79	0,59	0,40	0,30	0,20	0,15	0,09
Crea_1	12	1,48	1,32	0,99	0,66	0,49	0,33	0,25	0,15
Crea_2	53	0,34	0,30	0,22	0,15	0,11	0,07	0,06	0,03
Cristo Rey_0	10	1,78	1,58	1,19	0,79	0,59	0,40	0,30	0,18
Cristo Rey_1	9	1,97	1,75	1,32	0,88	0,66	0,44	0,33	0,20
Cristo Rey_2	4	4,44	3,95	2,96	1,98	1,48	0,99	0,74	0,45
Don Bosco_0	2	8,89	7,90	5,93	3,95	2,96	1,98	1,48	0,90
Don Bosco_1	5	3,55	3,16	2,37	1,58	1,18	0,79	0,59	0,36
Don Bosco_2	9	1,97	1,75	1,32	0,88	0,66	0,44	0,33	0,20
El Reloj_0	2	8,89	7,90	5,93	3,95	2,96	1,98	1,48	0,90
El Reloj_1	17	1,05	0,93	0,70	0,46	0,35	0,23	0,17	0,11
El Reloj_2	8	2,22	1,97	1,48	0,99	0,74	0,49	0,37	0,22
El Tejar_0	8	2,22	1,97	1,48	0,99	0,74	0,49	0,37	0,22
El Tejar_1	1	17,77	15,79	11,85	7,90	5,92	3,95	2,96	1,79
El Tejar_2	8	2,22	1,97	1,48	0,99	0,74	0,49	0,37	0,22
El Tiempo_0	32	0,56	0,49	0,37	0,25	0,19	0,12	0,09	0,06
El Tiempo_1	41	0,43	0,39	0,29	0,19	0,14	0,10	0,07	0,04
El Tiempo_2	33	0,54	0,48	0,36	0,24	0,18	0,12	0,09	0,05
El Volante_0	15	1,18	1,05	0,79	0,53	0,39	0,26	0,20	0,12
El Volante_1	21	0,85	0,75	0,56	0,38	0,28	0,19	0,14	0,09
El Volante_2	10	1,78	1,58	1,19	0,79	0,59	0,40	0,30	0,18
Emp. Electrica_0	7	2,54	2,26	1,69	1,13	0,85	0,56	0,42	0,26
Emp. Electrica_1	8	2,22	1,97	1,48	0,99	0,74	0,49	0,37	0,22
Emp. Electrica_2	9	1,97	1,75	1,32	0,88	0,66	0,44	0,33	0,20
Equindencia_0	6	2,96	2,63	1,98	1,32	0,99	0,66	0,49	0,30
Equindencia_1	4	4,44	3,95	2,96	1,98	1,48	0,99	0,74	0,45
Equindencia_2	30	0,59	0,53	0,40	0,26	0,20	0,13	0,10	0,06
Esc. Allende_0	2	8,89	7,90	5,93	3,95	2,96	1,98	1,48	0,90
Esc. Allende_1	4	4,44	3,95	2,96	1,98	1,48	0,99	0,74	0,45
Esc. Allende_2	5	3,55	3,16	2,37	1,58	1,18	0,79	0,59	0,36
Esc. Panama_0	1	17,77	15,79	11,85	7,90	5,92	3,95	2,96	1,79
Esc. Panama_1	2	8,89	7,90	5,93	3,95	2,96	1,98	1,48	0,90
Esc. Panama_2	2	8,89	7,90	5,93	3,95	2,96	1,98	1,48	0,90
La Merced_0	45	0,39	0,35	0,26	0,18	0,13	0,09	0,07	0,04
La Merced_1	52	0,34	0,30	0,23	0,15	0,11	0,08	0,06	0,03
La Merced_2	14	1,27	1,13	0,85	0,56	0,42	0,28	0,21	0,13
Mall del rio_0	4	4,44	3,95	2,96	1,98	1,48	0,99	0,74	0,45
Mall del rio_1	3	5,92	5,26	3,95	2,63	1,97	1,32	0,99	0,60
Mall del rio_2	3	5,92	5,26	3,95	2,63	1,97	1,32	0,99	0,60
Mirador Rio_0	7	2,54	2,26	1,69	1,13	0,85	0,56	0,42	0,26
Mirador Rio_1	14	1,27	1,13	0,85	0,56	0,42	0,28	0,21	0,13
Mirador Rio_2	4	4,44	3,95	2,96	1,98	1,48	0,99	0,74	0,45
Muebleria Vera_0	4	4,44	3,95	2,96	1,98	1,48	0,99	0,74	0,45
Muebleria Vera_1	7	2,54	2,26	1,69	1,13	0,85	0,56	0,42	0,26
Muebleria Vera_2	6	2,96	2,63	1,98	1,32	0,99	0,66	0,49	0,30
Narancay_0	13	1,37	1,21	0,91	0,61	0,46	0,30	0,23	0,14
Narancay_1	13	1,37	1,21	0,91	0,61	0,46	0,30	0,23	0,14
Narancay_2	31	0,57	0,51	0,38	0,25	0,19	0,13	0,10	0,06

Continúa en la página siguiente.

DATOS		Modulaciones utilizadas							
		64 QAM 3/4	64 QAM 2/3	16 QAM 3/4	16 QAM 1/2	QPSK 2/3	QPSK 1/2	BPSK 3/4	QPSK 1/2
		Máxima velocidad de descarga por modulación (Mbps)							
		17,77	15,79	11,85	7,9	5,92	3,95	2,96	1,79
BTS-Sector	# Usuarios	Velocidad de descarga de los usuarios (Mbps)							
Oftalmolaser_0	5	3,55	3,16	2,37	1,58	1,18	0,79	0,59	0,36
Oftalmolaser_1	6	2,96	2,63	1,98	1,32	0,99	0,66	0,49	0,30
Oftalmolaser_2	5	3,55	3,16	2,37	1,58	1,18	0,79	0,59	0,36
Olimpo_0	23	0,77	0,69	0,52	0,34	0,26	0,17	0,13	0,08
Olimpo_1	8	2,22	1,97	1,48	0,99	0,74	0,49	0,37	0,22
Olimpo_2	8	2,22	1,97	1,48	0,99	0,74	0,49	0,37	0,22
P. Industrial_0	59	0,30	0,27	0,20	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03
P. Industrial_1	15	1,18	1,05	0,79	0,53	0,39	0,26	0,20	0,12
P. Industrial_2	15	1,18	1,05	0,79	0,53	0,39	0,26	0,20	0,12
P. Victoria_0	2	8,89	7,90	5,93	3,95	2,96	1,98	1,48	0,90
P. Victoria_1	11	1,62	1,44	1,08	0,72	0,54	0,36	0,27	0,16
P. Victoria_2	4	4,44	3,95	2,96	1,98	1,48	0,99	0,74	0,45
Patamarca_0	19	0,94	0,83	0,62	0,42	0,31	0,21	0,16	0,09
Patamarca_1	16	1,11	0,99	0,74	0,49	0,37	0,25	0,19	0,11
Patamarca_2	4	4,44	3,95	2,96	1,98	1,48	0,99	0,74	0,45
Quifatex_0	1	17,77	15,79	11,85	7,90	5,92	3,95	2,96	1,79
Quifatex_1	5	3,55	3,16	2,37	1,58	1,18	0,79	0,59	0,36
Quifatex_2	4	4,44	3,95	2,96	1,98	1,48	0,99	0,74	0,45
Ricaurte_0	30	0,59	0,53	0,40	0,26	0,20	0,13	0,10	0,06
Ricaurte_1	17	1,05	0,93	0,70	0,46	0,35	0,23	0,17	0,11
Ricaurte_2	32	0,56	0,49	0,37	0,25	0,19	0,12	0,09	0,06
Ricaurte M._0	43	0,41	0,37	0,28	0,18	0,14	0,09	0,07	0,04
Ricaurte M._1	49	0,36	0,32	0,24	0,16	0,12	0,08	0,06	0,04
Ricaurte M._2	21	0,85	0,75	0,56	0,38	0,28	0,19	0,14	0,09
Sayausi_0	9	1,97	1,75	1,32	0,88	0,66	0,44	0,33	0,20
Sayausi_1	4	4,44	3,95	2,96	1,98	1,48	0,99	0,74	0,45
Sayausi_2	32	0,56	0,49	0,37	0,25	0,19	0,12	0,09	0,06
Talleres_0	6	2,96	2,63	1,98	1,32	0,99	0,66	0,49	0,30
Talleres_1	6	2,96	2,63	1,98	1,32	0,99	0,66	0,49	0,30
Talleres_2	1	17,77	15,79	11,85	7,90	5,92	3,95	2,96	1,79
Terminal_0	21	0,85	0,75	0,56	0,38	0,28	0,19	0,14	0,09
Terminal_1	6	2,96	2,63	1,98	1,32	0,99	0,66	0,49	0,30
Terminal_2	25	0,71	0,63	0,47	0,32	0,24	0,16	0,12	0,07
Totoracocha_0	7	2,54	2,26	1,69	1,13	0,85	0,56	0,42	0,26
Totoracocha_1	13	1,37	1,21	0,91	0,61	0,46	0,30	0,23	0,14
Totoracocha_2	9	1,97	1,75	1,32	0,88	0,66	0,44	0,33	0,20
Curtiembre_0	6	2,96	2,63	1,98	1,32	0,99	0,66	0,49	0,30
Curtiembre_1	8	2,22	1,97	1,48	0,99	0,74	0,49	0,37	0,22
Curtiembre_2	9	1,97	1,75	1,32	0,88	0,66	0,44	0,33	0,20
Ucubamba_0	26	0,68	0,61	0,46	0,30	0,23	0,15	0,11	0,07
Ucubamba_1	17	1,05	0,93	0,70	0,46	0,35	0,23	0,17	0,11
Ucubamba_2	11	1,62	1,44	1,08	0,72	0,54	0,36	0,27	0,16
UDA_0	11	1,62	1,44	1,08	0,72	0,54	0,36	0,27	0,16
UDA_1	1	17,77	15,79	11,85	7,90	5,92	3,95	2,96	1,79
UDA_2	3	5,92	5,26	3,95	2,63	1,97	1,32	0,99	0,60
Yanuncay_0	3	5,92	5,26	3,95	2,63	1,97	1,32	0,99	0,60
Yanuncay_1	8	2,22	1,97	1,48	0,99	0,74	0,49	0,37	0,22
Yanuncay_2	5	3,55	3,16	2,37	1,58	1,18	0,79	0,59	0,36

Cuadro 3.11: Cálculo de usuarios conectados simultáneamente para cada modulación

Modulación	Velocidad Máxima de descarga (Mbps)	Velocidad ofrecida (Mbps)	Número de usuarios conectados simultáneamente
64 QAM 3/4	17,77	2,1	9,0
64 QAM 2/3	15,79	2,1	8,0
16 QAM 3/4	11,85	2,1	6,0
16 QAM 1/2	7,9	2,1	4,0
QPSK 2/3	5,92	2,1	3,0
QPSK 1/2	3,95	2,1	2,0
BPSK 3/4	2,96	2,1	1,0
QPSK 1/2	1,79	2,1	1,0

3.3.2 Cálculo de usuarios simultáneos

Para el cálculo del número de usuarios que pueden conectarse a la red simultáneamente a un sector de cada BTS se utilizaron los datos de la velocidad máxima de descarga por cada modulación especificados en la tabla 3.9. También se utilizó la velocidad ofrecida por ETAPA a los usuarios que es de $2,1Mbps$, con estos datos se tienen simultáneamente navegando a esa velocidad la cantidad de usuarios que se especifican en el cuadro 3.11.

Se debe considerar que muchos de los usuarios no se conectan simultáneamente, lo que permite navegar a la velocidad ofrecida e incluso a mayor velocidad. Para comprobar la velocidad de descarga en una conexión se utiliza el programa NetPerSec que evalúa la conexión y muestra un promedio de la velocidad. En una de las pruebas y ubicados a $100m$ aproximadamente de distancia de la BTS Mirador del Rio, se logró alcanzar $9,8Mbps$. Se debe aclarar que ETAPA ofrece una velocidad de bajada de $2,1Mbps$, sin embargo en el gestor está establecido como límite de descarga en los $10Mbps$ razón por la cual un usuario puede superar la velocidad ofrecida dependiendo de su ubicación.

No fue posible establecer la distancia límite de cada modulación debido a que un equipo en movimiento puede estar ubicado dentro de diferentes modulaciones, además las BTSs están muy cercanas entre sí y el radio que cubre cada modulación de una BTS puede interferir con otras BTSs vecinas.

3.3.3 Cálculo del alcance del lóbulo principal dependiendo del ángulo de inclinación de las antenas

Con el ángulo de inclinación se puede hacer más directiva una antena y se puede incrementar o disminuir el área de cobertura de la misma. Hay que tener cuidado al momento de establecer el tilt debido a que puede incrementar la interferencia entre BTSs si se sube demasiado, o puede perjudicar a muchos usuarios en la

potencia de recepción de la señal si se baja demasiado. En el cuadro 3.12 se presentan los cálculos de las distancias a las que alcanzará el lóbulo principal de cada antena de acuerdo a la altura de la BTS, la altura del receptor y el ángulo de inclinación o Tilt. En la fórmula 3.23 se utiliza para calcular el ángulo de inclinación, de esta fórmula se despejará la distancia de acuerdo a los ángulos de inclinación que se tienen.

$$\text{Angulo Tilt} = \tan^{-1} \frac{h_{Tx} - h_{Rx}}{D} \quad (3.23)$$

Donde:

- h_{Tx} : altura de la antena transmisora.
- h_{Rx} : altura del receptor 1,5m
- **D**: Distancia entre la antena transmisora y el receptor

Cuadro 3.12: Cálculo de la distancia (m) a la que llega el lóbulo principal con la mayor potencia dependiendo del ángulo de inclinación o tilt.

DATOS	Tilt o ángulo de inclinación medido (°)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Altura de las BTS (m)	Distancia a la que llega el lóbulo principal con la mayor potencia (m)							
15	859,4	429,6	286,3	214,6	171,5	142,8	122,3	106,9
40	2450,8	1225,1	816,4	611,9	489,2	407,3	348,7	304,8
51	3151,0	1575,1	1049,6	786,8	629,0	523,7	448,4	391,8
24	1432,3	716,0	477,1	357,6	285,9	238,0	203,8	178,1
30	1814,2	906,9	604,3	453,0	362,1	301,5	258,1	225,6
21	1241,3	620,5	413,5	309,9	247,8	206,3	176,6	154,4
27	1623,2	811,4	540,7	405,3	324,0	269,8	231,0	201,9
20	1177,6	588,7	392,3	294,0	235,1	195,7	167,6	146,4
33	2005,2	1002,3	668,0	500,7	400,2	333,2	285,3	249,3

3.4 Selección del software de simulación

En las redes comunicaciones móviles hay una variedad de software disponibles dependiendo el tipo de aplicaciones como planificación, optimización, predicción de cobertura, interferencias, los organismos que dan uso de software son las empresas de telecomunicaciones, universidades, organismos de regulación, en este proyecto de tesis se analizaron 3 programas, debido a que son capaces de simular redes WiMAX y son los siguientes.

- **RADIO MOBILE**: Es una herramienta de simulación de radio propagación de distribución libre desarrollado por Roger Coudé.
- **ATOLL**: Es una herramienta para planificación de Redes Móviles, es de la Empresa Fosk.

- *ICS TELECOM*: Es uno de los múltiples paquetes de software que ofrece la empresa ATDI, para la gestión y planificación de espectro radioeléctrico.

3.4.1 RADIO MOBILE

Es un software de simulación para predicción de la propagación de ondas de radio como la cobertura, el rango de frecuencias que trabaja es de 20MHz a 20GHz. RADIO MOBILE utiliza la información digital del terreno y un modelo matemático para simular las transmisiones de radio entre dos sitios fijos (enlace de radio) o también entre un sitio fijo y un móvil (cobertura). El modelo matemático para el cálculo del radioenlace y la predicción de cobertura considera una lista de entradas que son configurables en el software mencionadas a continuación.

- Potencia del Transmisor.
- Pérdidas en el Transmisor y Receptor.
- Ganancia antena transmisora y receptora.
- Tipo de antena transmisora (simulación de cobertura).
- Azimut de la antena transmisora (simulación de cobertura).
- El Tild o inclinación de la antena transmisora (simulación de cobertura).
- Altura de la antena transmisora y receptora.
- Latitud y Longitud del transmisor
- Sensibilidad sitio receptor (se corresponde con el umbral del receptor)
- Margen de señal (simulación de cobertura)

La cartografía incluido mapas, datos de elevación del terreno está disponible de forma gratuita en Internet del proyecto de la NASA Shuttle Terrain Radar Mapping Misión (SRTM) que posee una baja resolución (100m). [23].

3.4.2 ATOLL

Software es de la empresa francesa Fosk que proporciona soluciones de planificación de radio y software de optimización para la industria inalámbrica desde 1987. La primera versión se lanzó en 1997, actualmente es capaz de simular varias redes móviles como GSM/GPRS/EDGE/UMTS/HSDPA/WiMAX, además posee la función llamada planificación automática de frecuencias. El módulo ATOLL WiMAX / BWA ofrece un amplio conjunto de características para el diseño y optimización de (BWA) redes WiMAX y redes banda ancha de acceso inalámbrico [13].

Para modelar una Red WiMAX ofrece las siguientes características:

- Soporte TDD y FDD en redes PMP (apartado multipunto) WiMAX
- Soporte para múltiples bandas de frecuencia
- Configuración de subportadora y modos de asignación de sub-canal
- Modelado inteligente de antenas.
- Modelado MIMO: transmisión / recepción, SU-MIMO (usuario único - múltiples entradas múltiples salidas), MU-MIMO (multiusuario - múltiples entradas múltiples salidas), Modulación Adaptativa MIMO (AMS)
- Modelamiento de tráfico
- Análisis de cobertura de la red en un receptor móvil.
- Autoconfiguración de las BTS para mejor rendimiento de la red.
- Múltiples modelos de propagación.

3.4.3 ICS TELECOM

Software de simulación de radiocomunicaciones de la empresa ATDI, que posee amplia experiencia desde 1990 con constante desarrollo e implementación de sistemas de gestión automática del espectro, diseño y optimización de redes, cartografía digital en tres dimensiones. Los beneficios principales de este software son los siguientes:

- Diseño de red.
- Planificación de la red.
- Optimización del espectro.
- Monitoreo del espectro.
- Optimización de la red.
- Múltiples mapas con varias resoluciones integrados.

ICS TELECOM trabaja en frecuencias desde los 8KHz hasta 450GHz, por lo tanto, es capaz de simular AM, FM, TVA, GSM, GSM-R ETCS, LTE, WIMAX, WCDMA, CDMA 2000, WIFI, SCDMA y muchas más. Además es capaz de simular las modulaciones fijas y adaptativas dependiendo del sistema de comunicación usado, soporta SISO, MIMO, AAS, TDD, FDD. Cuenta con varios modelos de propagación para la predicción de cobertura modelos tradicionales como el cost231, Okumura Hata [3]. Al hablar del rango de frecuencias desde 8KHz a 450GHz implica que cuenta con un paquete de simulación WiMAX capaz de

configurar varios parámetros como los mencionados en el apartado anterior cuando se describió ATOLL, pero cabe mencionar que ICS TELECOM cuenta con más parámetros que se pueden configurar, como el patrón de radiación de la Antena transmisora, configuración de frecuencias, Modulación adaptativa, configuración de atenuaciones. Este software cuenta con una versión Demo que los componentes son limitados comparados con la versión de pago.

3.4.4 Parámetros de Simulación

3.4.4.1 Cartografía Digital La resolución en la cartografía digital implica considerar los niveles de resolución que son bajo, medio, alto. La cartografía de baja resolución contiene datos con una precisión de 300 metros y superiores. La simulación en una zona urbana no se puede realizar utilizando una resolución baja. La cartografía de resolución media describe el terreno con una precisión entre 20 y 50 metros. La cartografía con resolución alta describe el terreno con una precisión entre 5 y 10 metros; para lograr una simulación con una mayor precisión posible se tiene las siguientes capas de cartografía digital.

- **Capa MDT (Modelo digital de terreno):** Contiene la elevación del suelo con respecto al nivel del mar.
- **Capa de clutter:** Describe la ocupación sobre el suelo, contiene información del tipo de suelo dentro del mapa y lo que ocupa el suelo, esta información puede ser suelo urbano, suburbano, boscosa, agua, mar, glaciación, etc.
- **Capa Modelo digital edificios (MDS):** Contiene información de las alturas de las edificaciones dentro de la zona, es usada para simulaciones donde se requiere mayor precisión.
- **Capa de Imagen:** Es un mapa que contiene la zona donde se va a realizar la simulación.

Las capas descritas anteriormente tienen formatos de archivos diferentes para ATOLL, ICS TELECOM y RADIO MOBILE como se describe en el cuadro 3.13.

3.4.4.2 Modelos de propagación Al usar cartografía implica utilizar dos tipos de modelos de propagación, los modelos determinísticos y estadísticos; la elección del modelo depende de varios factores como bandas de frecuencia, zona urbana, suburbana o rural, y del tipo de cartografía del software; para simular una red WiMAX con frecuencia de 3.5GHz se debe utilizar modelos de propagación que soporten la frecuencia mencionada, por ende en el capítulo 2 se describió los

Cuadro 3.13: Formatos de archivos para ATOLL, ICS TELECOM y RADIO MOBILE [23], [12], [4].

Catografía	RADIO MOBILE	ATOLL	ICS TELECOM
MDT	.BMP, .GEO	.TIF, .BIL, .BMP, .GRD	.GEO
MDS	No soporta	.TIF, .BIL, .BMP, .GRD	.BLG
Capa de Clutter	No soporta	.TIF, .BIL, .BMP, .GRC, .IST	.SOL
Imagen	.PNG, .JPG	.TIF, .BIL, .BMP, .GRC, .IST, .JPG	.PAL, .JPG
Capa de población	No soporta	.TIF, .BIL, .BMP, .GRD, .GRC, .IST, .JPG, .SHP, .TAB	No soporta

modelos de propagación usados para este caso. A continuación se describen los modelos mencionados.

■ Modelos Determinísticos

Los modelos deterministas hacen uso de las leyes que rigen la propagación de ondas electromagnéticas para determinar la potencia de la señal recibida en una ubicación particular. Requieren un mapa 3D del entorno de propagación: mientras mejor sea la compatibilidad y exactitud de la cartografía, mayor será la precisión de cobertura (para un determinado conjunto de parámetros técnicos de estaciones, Terminales, CPE). Ejemplos típicos son los modelos 525/526 de la ITU-R, que se utilizan con efectos adicionales apropiadas de propagación (difracción, la atenuación sub-ruta) [3]. En este caso, la atenuación asociada a la intensidad de la señal recibida en cada píxel será atenuada basada en el modelo de difracción seleccionado.

■ Modelos Estadísticos

Son modelos empíricos que modelan un entorno como una serie de variables aleatorias. Estos modelos son los menos precisos, pero requieren la menor información sobre el entorno y requieren menos procesamiento. Un ejemplo de este tipo de modelo son los modelos (SUI) del canal de la Universidad de Stanford diseñado justamente para WiMAX en entornos rurales y suburbanos [3].

En el cuadro 3.14 muestra una comparación de los modelos de propagación para WiMAX soportados por cada software.

Cuadro 3.14: Modelos de propagación soportados para ATOLL, ICS TELECOM y RADIO MOBILE [23], [12], [4].

Modelos de Propagación	Tipo	Calidad de Cartografía Requerida	RADIO MOBILE	ATOLL	ICS TELECOM
ITU-R P.525 /Bullington	Determinístico	Alta	No	No	Si
TU-R P.525 / 526 Deygout 94	Determinístico	Alta	No	No	Si
ITU-R P.525	Determinístico	Alta	No	Si	Si
SUI	Estadísticos	Media	No	Si	Si

3.4.4.2 Predicciones de nivel de señal de cobertura y calidad de señal Al hablar de nivel de señal de cobertura se refiere a la cantidad de potencia que llega en determinada zona desde el transmisor, y la calidad de señal se refiere a los cálculos de interferencia mas ruido, para el caso de WiMAX el nivel de señal de cobertura es el valor de RSSI y la calidad de señal es el nivel de CINR. A continuación en el cuadro 3.15 se muestra las predicciones de cobertura e interferencia soportadas para RADIO MOBILE, ICS TELECOM, ATOLL.

Cuadro 3.15: Predicciones de nivel de señal de cobertura y calidad de señal [23], [12], [4].

Predicciones	Descripción	RADIO MOBILE	ATOLL	ICS TELECOM
Cobertura Compuesta	Calcula el nivel de potencia de la señal para WiMAX (RSSI), en cada pixel del mapa	Si	Si	Si
Cobertura de Mejor Servidor.	Indica para cada pixel el mejor servidor, es decir, el que proporciona el mayor nivel de intensidad de campo	No	Si	Si
Solapamiento	Se visualiza las zonas donde existe solapamiento de la señal RSSI de más de un servidor	No	Si	Si
Porcentaje Simultáneo	Indica el % de servidores que dan cobertura en cierto punto de la red	No	No	Si
Mapa C/I	Calcula los niveles de la relación portadora a interferencia más ruido para los canales	Si	Si	Si
Mapeado de servicios (UL y DL)	Indica el mejor servicio disponible en el enlace de subida y bajada	No	Si	No
Mapeado rendimiento	Calcula el rendimiento basándose en los niveles de relación portadora a interferencia	No	Si	Si

Descrito cada software de simulación se puede determinar que software es adecuado para realizar la simulación tomando como referencia el cuadro 3.13 que muestran la comparación en de la cartografía digital de RADIO MOBILE, ATOLL e ICS TELECOM se puede concluir que ATOLL e ICS TELECOM son óptimos para realizar la simulación debido a que soportan cartografías de alta resolución, mientras que RADIO MOBILE tiene una cartografía digital básica compuesta por la capa de imagen y una capa MTD de baja resolución. En el cuadro 3.14 se compara los modelos de propagación para WiMAX, se concluye que tanto ATOLL e ICS TELECOM soportan los modelos de propagación para WiMAX, mientras que RADIO MOBILE se basa en el modelo de propagación de Okumura hata. En el cuadro 3.15 muestra las simulaciones soportadas de cobertura, interferencia y rendimiento de RADIO MOBILE, ATOLL e ICS TELECOM, se puede concluir que ATOLL e ICS TELECOM soporta cálculo de cobertura, interferencia y rendimiento, mientras que RADIO MOBILE soporta cálculo de cobertura e interferencia.

Se concluye que ATOLL e ICS TELECOM cumplen con los requerimientos para la simulación de WiMAX para este proyecto, la desventaja es que ATOLL e ICS

TELECOM no son software libre como RADIO MOBILE. La agencia de control y regulación de las telecomunicaciones (ARCOTEL) tiene a su disposición ICS TELECOM y gracias al apoyo de este ente regulatorio se eligió ICS TELECOM debido a la cartografía digital de alta resolución de la ciudad de Cuenca y este software cumple con los requerimientos para la simulación de la red WiMAX de la zona urbana de ETAPA EP.

3.5 Simulación de la red WiMAX de ETAPA EP en la zona urbana de Cuenca

3.5.1 Cartografía digital en ICS TELECOM

La cartografía digital de la ciudad de Cuenca para ICS TELECOM fue facilitada por el ente de regulación ARCOTEL, contiene capas de alta resolución que son vitales para lograr una simulación con la mayor precisión posible, los formatos de archivos de cada capa se muestran en la Figura 3.9 y en las siguientes figuras muestra cada capa de la cartografía digital de la zona urbana de Cuenca.

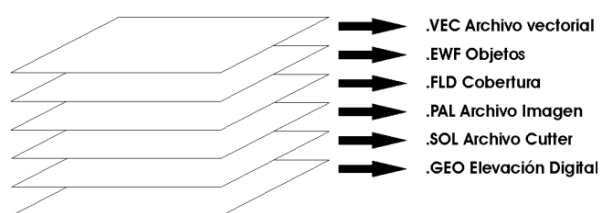


Figura 3.9: Capas de la cartografía digital de ICS TELECOM [3]

- Capa MDT (Modelo Digital de Terreno).

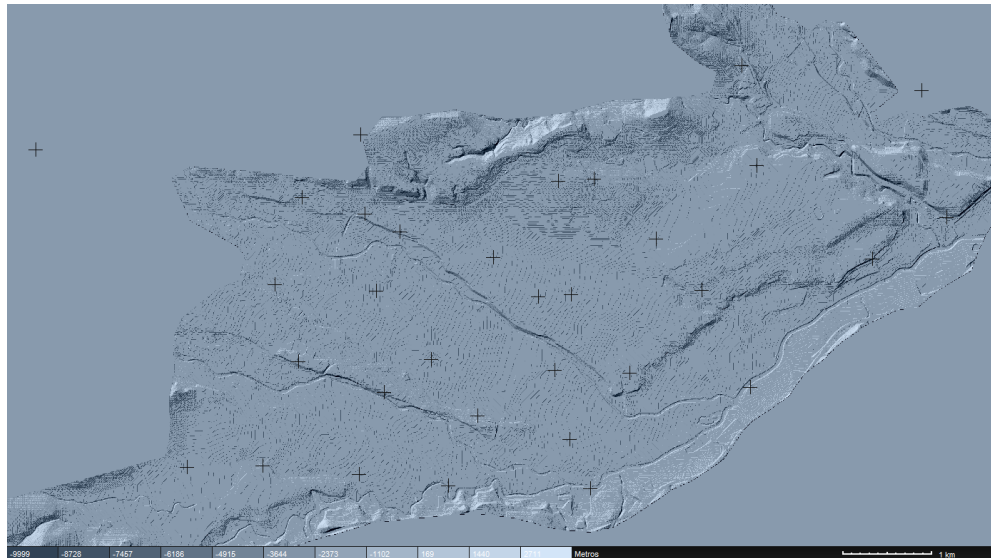


Figura 3.10: Capa MTD modelo digital de terreno de la ciudad de Cuenca

- Capa de Imagen (IMG)

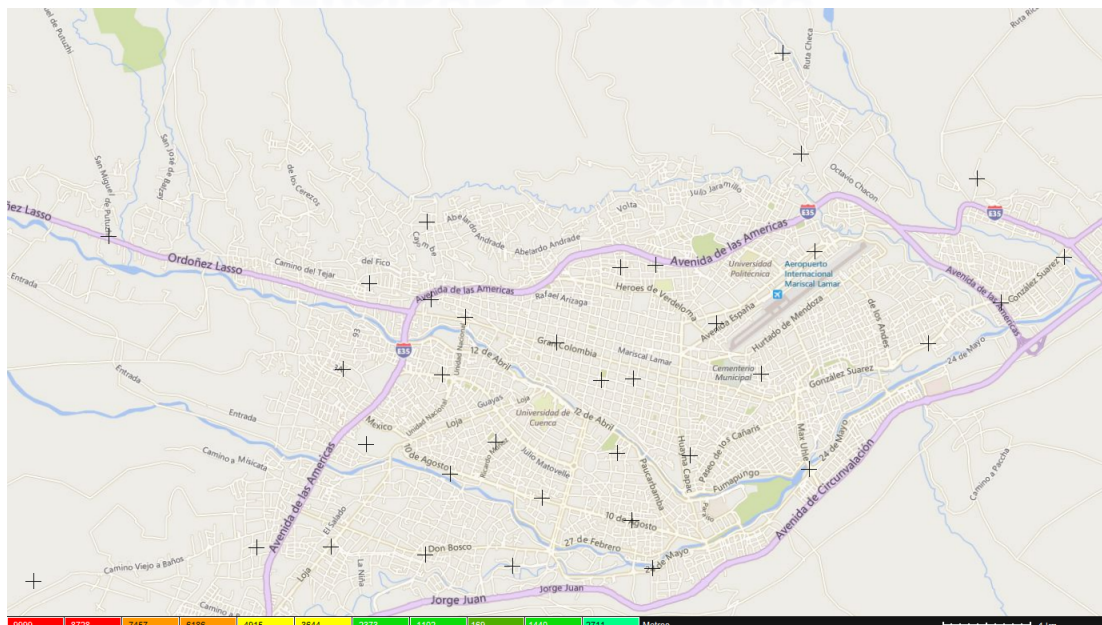


Figura 3.11: Capa de imagen de la ciudad de Cuenca

- Capa de clutter
- Capa de edificios

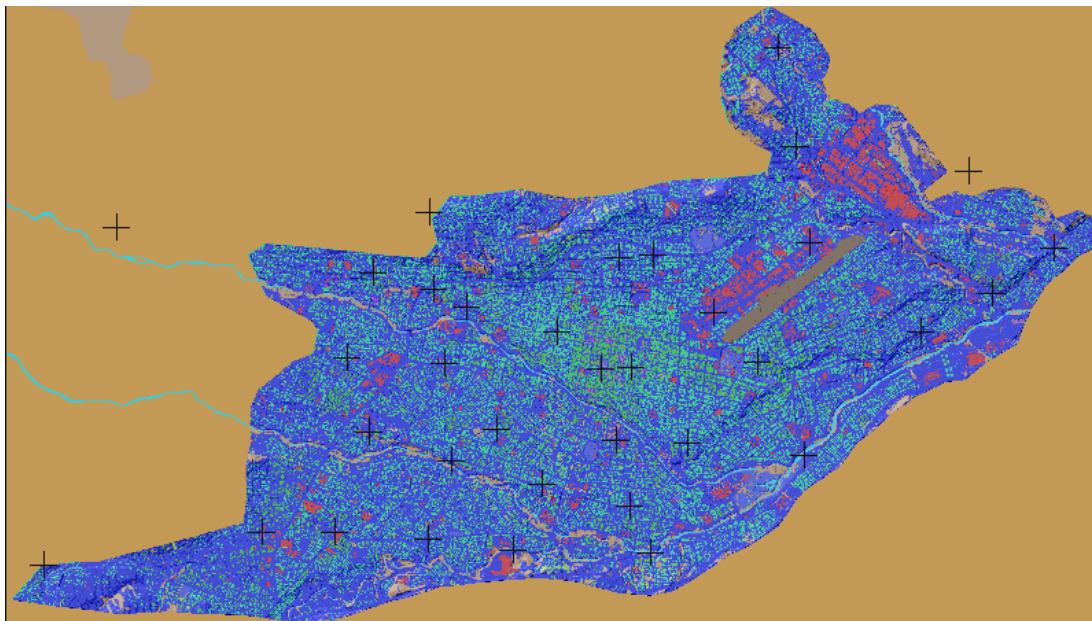


Figura 3.12: Capa clutter de la ciudad de Cuenca

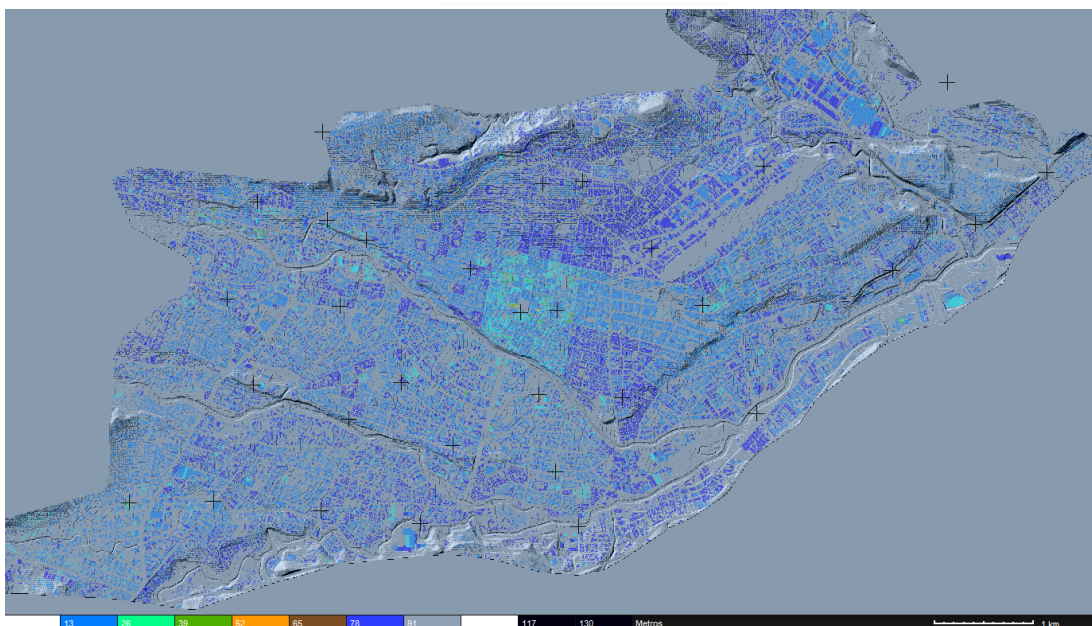


Figura 3.13: Capa de edificios de la ciudad de Cuenca

3.5.2 Configuración de parámetros en ICS TELECOM

La simulación de la Red WiMAX fue realizada en la zona urbana de la ciudad de Cuenca, aunque hay zonas suburbanas de la ciudad de Cuenca como Ricaurte, Baños, Sayausí que fueron tomadas en cuenta en la simulación por la cantidad de

usuarios que hay en zona.

Se configuró cada transmisor sectorial de cada BTS en ICS TELECOM, los parámetros generales son los siguientes:

- **Tipo:** Es el tipo de transmisor o receptor a configurar para este caso es TX/RX.
- **Señal:** Es el tipo de señal a configurar para nuestro caso es WiMAX a 10TDD, ya que ETAPA EP usa esta configuración, esto significa que usará duplexación por división de tiempo y canales 10 MHz de ancho de banda.
- **Estado:** Describe la situación en la que se encuentra el transmisor, puede ser conectado, desconectado, ocupado, etc.
- **Potencia nominal:** Es la potencia de la antena transmisora para este caso es 6.92 W o 39.4 dBm.
- **Ganancia antena Tx:** Es el valor de la Ganancia de la antena transmisora para este caso es 18 dBi.
- **Ganancia antena Rx:** Es el valor de la Ganancia de la antena receptora para este caso es 0.2dBi (para WiMAX móvil).
- **Pérdidas Tx:** Son las pérdidas del transmisor para éste caso es 2dB.
- **Frecuencia:** Es la frecuencia del sistema WiMAX, en esta red WiMAX de ETAPA EP hay 4 frecuencias piloto que son 3482.5MHz, 3492.5MHz, 3582.5MHz, 3592.5MHz.
- **Altura de la Antena:** Es la altura de la antena transmisora, para éste caso varia de acuerdo el tipo de estructura que puede ser una torre, mono poste, edificio.
- **Ancho de banda:** Es el ancho de banda para la señal WiMAX para éste caso es 10MHz.

En la siguiente Figura se puede observar los parámetros mencionados del transmisor configurados en ICS TELECOM.

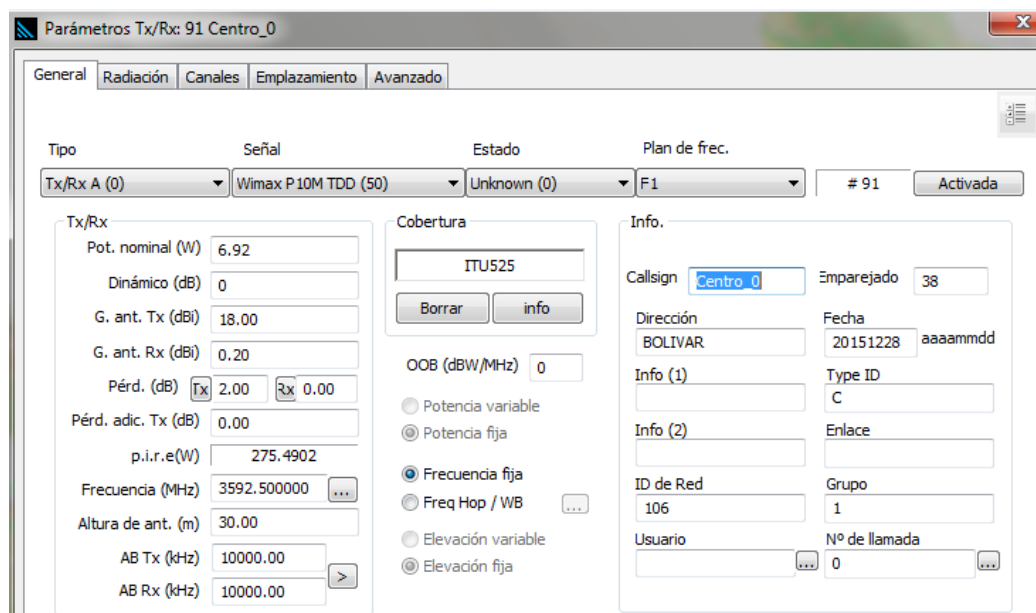


Figura 3.14: Ventana parámetros generales TX/RX ICS TELECOM

En la pestaña radiación se debe configurar los patrones de radiación de la antena tipo panel. Se usó en software Antios de la empresa ATDI para diseñar el patrón de radiación de la antena, este software es capaz de diseñar una antena considerando varios parámetros como su estructura, el tipo de antena, dimensiones de la antena, y lo más importante el diseño de los patrones de radiación. Antios es capaz de exportar los datos de los patrones de radiación a ICS TELECOM ya que los dos programas son de la misma empresa tiene la ventaja de usar el mismo formato de archivos para los patrones de radiación tanto horizontal y vertical. A continuación se creó un proyecto de antena tipo panel con las especificaciones del cuadro 3.4 que se muestra a continuación.

En la Figura 3.16 se puede observar el patrón de radiación diseñado en 3D. En la Figura 3.17 y 3.18, se puede observar el patrón de radiación horizontal y vertical cargado a ICS TELECOM, diseñados en Antios con los parámetros del modelo de la antena panel SL12436A de WiMAX.

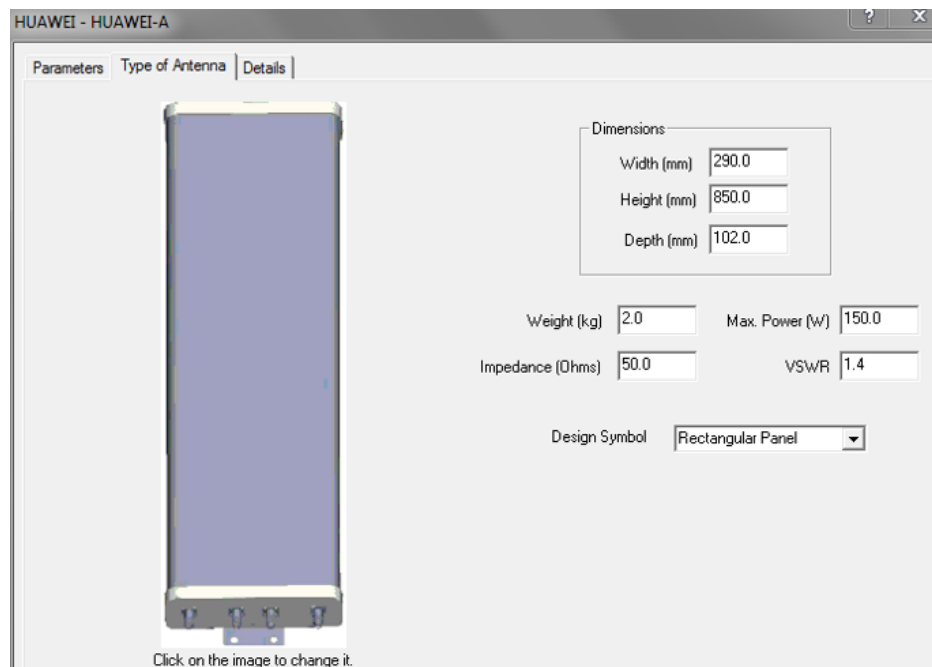


Figura 3.15: Configuración parámetros antena SL12436A en Antios

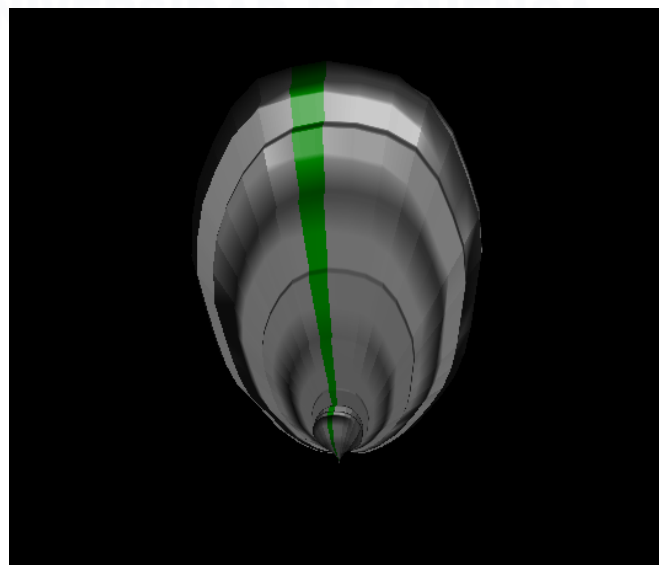


Figura 3.16: Patrón de radiación antena diseñada en Antios en 3D

En la pestaña llamada canales se configura la frecuencia de la portadora principal como se mencionó en el apartado 3.2.1 hay cuatro frecuencias, para el presente proyecto se configura el modo de permutación: utilización parcial de subportadoras (PUSC) para cada BTS, En ICS TELECOM, el usuario puede seleccionar una permutación OFDMA y el número subportadoras de datos utilizadas que se pueden

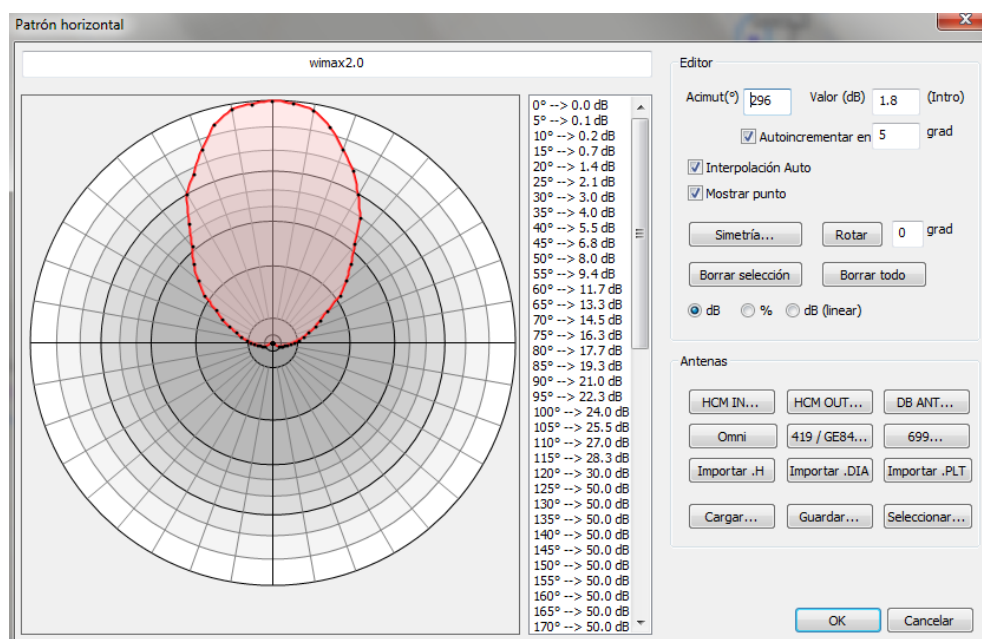


Figura 3.17: Patrón de radiación horizontal cargado a ICS TELECOM

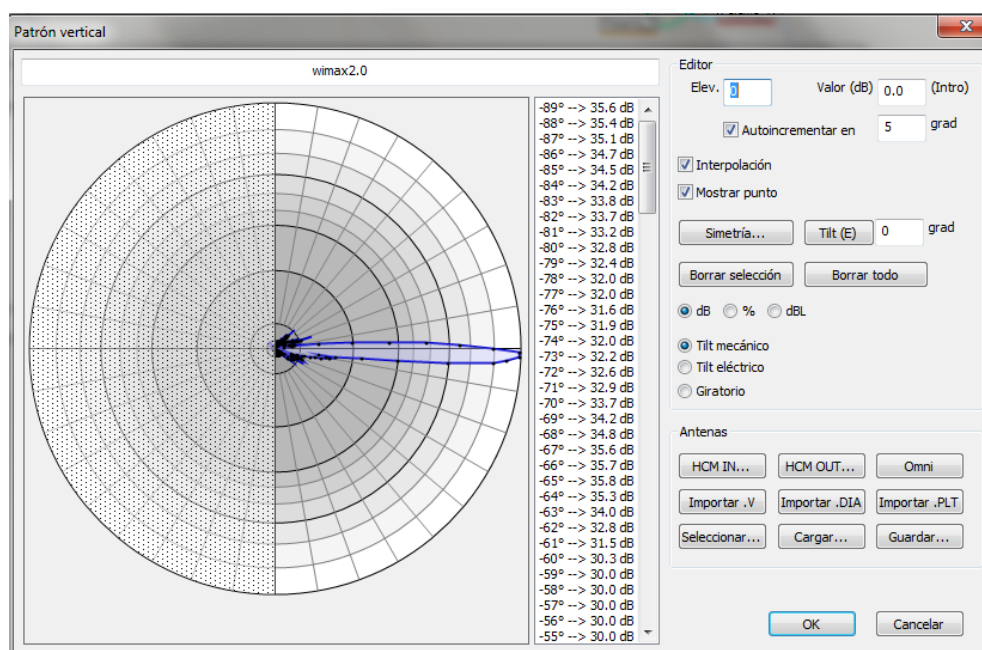


Figura 3.18: Patrón de radiación vertical cargado a ICS TELECOM

ver en el cuadro reffig: PUSC. Al usar el modo de permutación PUSC, los valores de IRF (*Interference Rejection Factors*) se ponderan de acuerdo con el número de la segmentación y el porcentaje PUSC asignado a la estación. En la Figura 3.19 muestra la configuración mencionada.

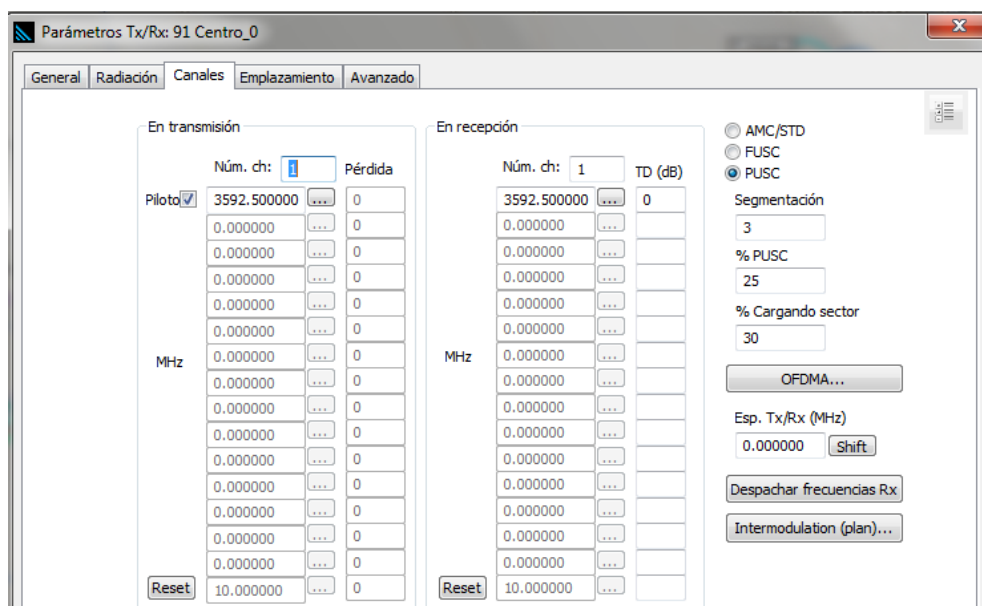


Figura 3.19: Configuración de canal de BTS WiMAX en ICS TELECOM

En la pestaña emplazamiento se configura la ubicación de la BTS, se debe ingresar la longitud, latitud, el sistema de coordenadas que en este caso es el formato decimal. En la Figura 3.20 muestra la configuración mencionada.

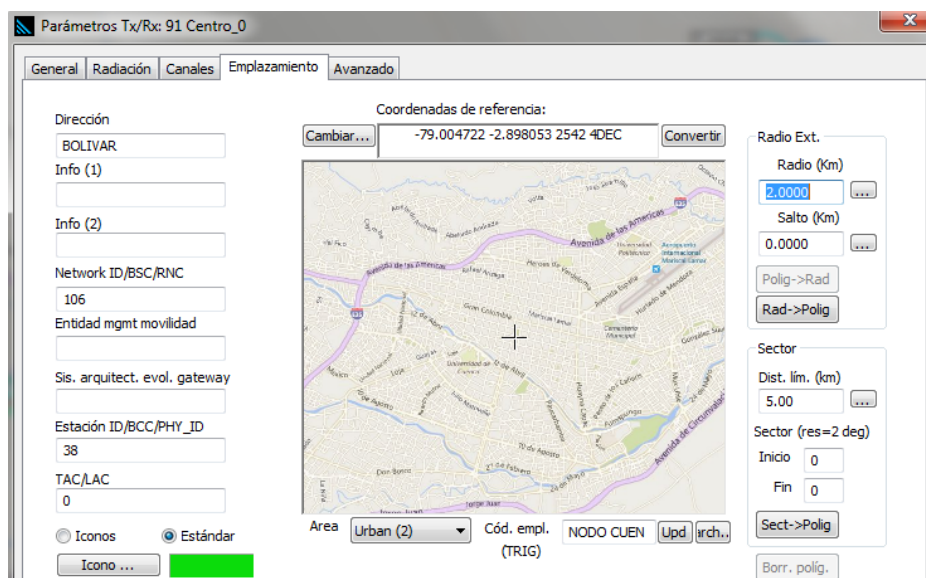


Figura 3.20: Configuración de ubicación de BTS WiMAX en ICS TELECOM

La configuración de la estación móvil o subscriptor en ICS TELECOM es similar a la configuración de la pestaña general del transmisor. Para este caso se va a

configurar un equipo receptor móvil huawei BM338 WiMAX USB, de la figura 3.8, con los siguientes parámetros:

- Ganancia de 0.2dBi
- Frecuencia 3.5GHz
- Altura promedio 1.5m
- Patrón de Radiación omnidireccional
- Umbral de recepción -92dBm En la Figura 3.21 se puede observar la ventana de configuración de una estación móvil.

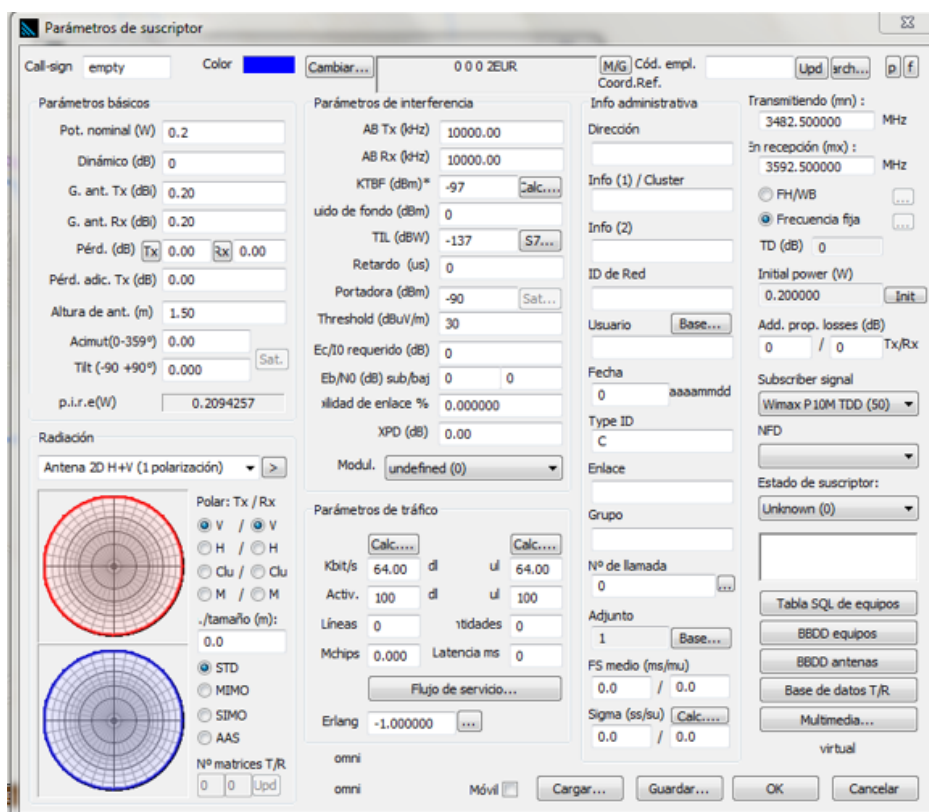


Figura 3.21: Configuración de un suscriptor WiMAX en ICS TELECOM

Se define los parámetros de tráfico:

- La demanda de velocidad de bits en el enlace de bajada (DL) y subida (UL).
- El factor de actividad en el DL y UL.
- El porcentaje de la demanda tasa de bits que se asignará a cada flujo de servicio (UGS, rtPS, nrtPS, Best Effort) (descritos en el apartado 2.3.2). Para la simulación se configuró un servicio de voz sobre IP (VoIP) con un



Figura 3.22: Configuración de flujo de servicio del subscriptor

factor de actividad del enlace de subida y bajada de 15 %, velocidad de datos en enlace de subida 1024 Kbps y de bajada de 333 Kbps, UGS de 40 % y rtPS, nrtPS, Best Effort de 20 % como se muestra en la Figura 3.22.

3.5.3 Simulación en ICS TELECOM

Después de configurar los 120 sectores de la red WiMAX distribuidos por la ciudad de Cuenca. Se simuló la cobertura de la red entregada por Huawei en la zona urbana de Cuenca con la recomendación itu525 DEYGOUT del apartado 2.7 que calcula de las pérdidas de difracción por n obstáculos que estén presentes entre el emisor y el receptor dentro de un enlace, para pérdidas de difracción se usó la configuración el método deygout 94. En la Figura 3.23 muestra la red Huawei simulada.

La simulación de la Figura 3.23 en la parte inferior muestra el nivel de potencia recibida en cada parte del área cubierta, cada color en cada pixel de la imagen está asociada a un valor de potencia, el color verde significa una potencia excelente para el la estación móvil, amarillo representa una potencia regular percibida por la estación móvil, y el color naranja representa una potencia al límite del umbral de recepción de la estación móvil y por último café y rojo significa que tiene una potencia baja esto implica que la estación móvil se perderá conexión de la BTS enganchada en ese momento. En la Figura 3.24 se puede ver los niveles de potencia y CINR. Los valores de CINR indica el nivel de interferencia entre portadoras.

En la parte superior de la ventana principal se encuentra una visualización dinámica que permite leer los diferentes valores de potencia recibida en cada pixel del mapa como se muestra en la Figura 3.25.

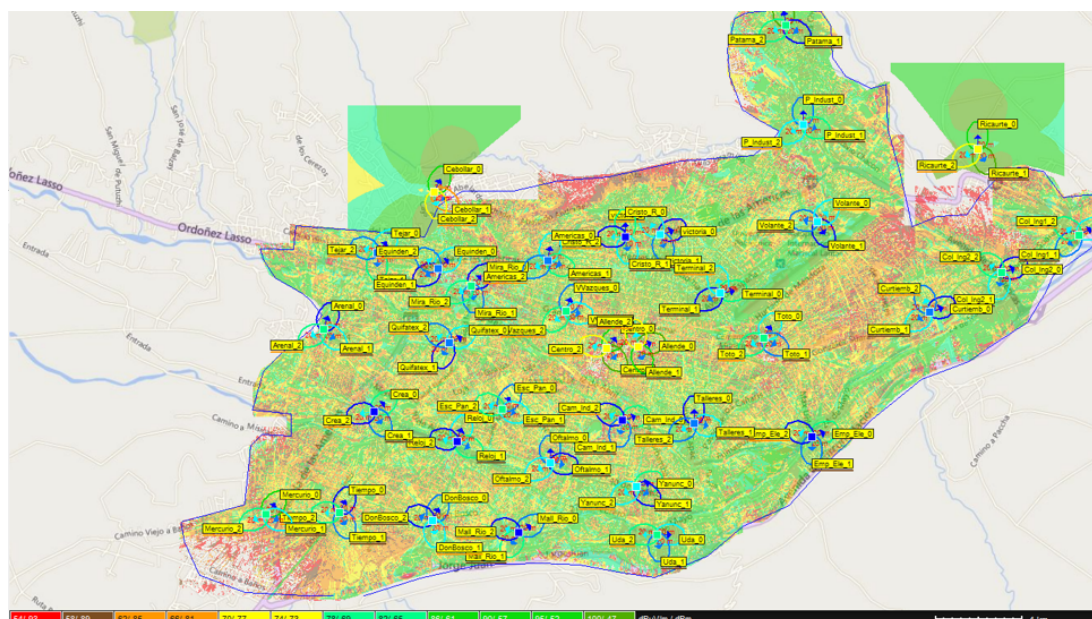


Figura 3.23: Simulación de cobertura RSSI (dBm) con parámetros de Huawei

CINR (dB)	POTENCIA(dBm)	COLOR
1	-92	ROJO
5	-89	MARRÓN
7	-85	NARANJA
9	-81	AMARILLO
10	-77	VERDE CLARO
12	-73	VERDE MEDIO
14	-69	VERDE OSCURO
16	-65	VERDE MUY OSCURO
20	-61	VERDE MUY OSCURO
24	-57	VERDE MUY OSCURO
28	-52	VERDE MUY OSCURO
30	-47	VERDE MUY OSCURO

Figura 3.24: Representación de colores de los niveles RSSI y CINR

Hay una opción en ICS TELECOM para mostrar las áreas solapadas, para la red WiMAX de Cuenca las distancias entre BTSs el valor promedio es 1Km, debido a que las BTSs están cercanas existe solapamiento entre ellas, es decir llega la señal de varias BTS en un mismo punto, en teoría WiMAX con línea de vista llega a 50Km, pero con pruebas reales en la ciudad de Cuenca con línea de vista la cobertura llega hasta 10Km, En el anexo 6 muestra las áreas solapadas de color rosado asociado con el valor 255, un píxel se considera como solapado si más de una señal puede ser recibida en este píxel por encima del umbral (-92dBm).

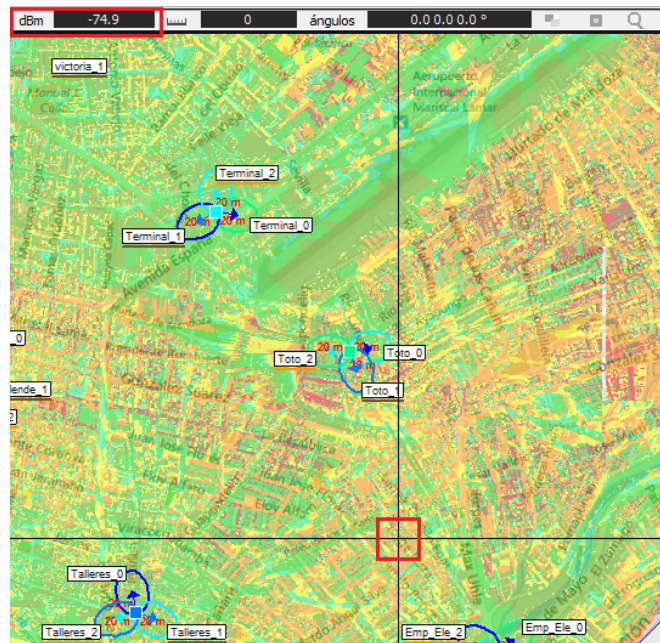


Figura 3.25: Valor de potencia en un punto específico (dBm)

Por la cercanía entre BTS hay solapamiento, por eso la estación móvil tiene que realizar un muestreo de la calidad de la señal para conectarse, los parámetros que considera son el nivel de RSSI y el CINR, para usuarios fijos de la red WiMAX el equipo del usuario se configura para que se conecte a una sola BTS en caso de existir solapamiento de BTSs vecinas, caso contrario puede conectarse a la BTS que tenga mejor calidad de señal.

Después de simular la red WiMAX con los datos de Huawei, se simuló con los datos que se midieron en las pruebas de campo, a partir de este punto se considerará esta red medida por tener datos reales de las pruebas de campo, la simulación se efectuó con el modelo de propagación itu525DEYGOUT. En las Figuras 3.26 y 3.27 se puede observar las simulaciones de coberturas.

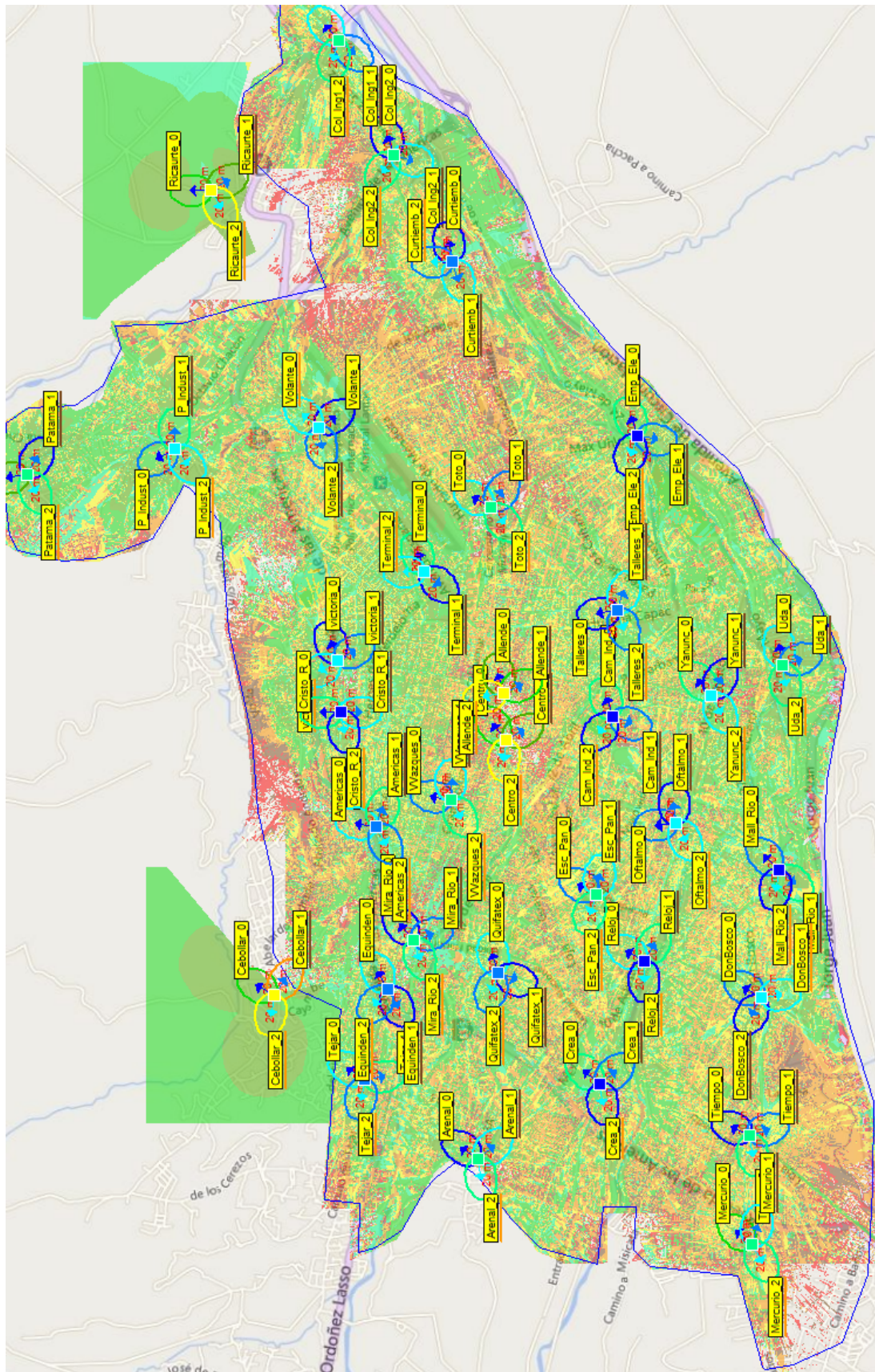


Figura 3.26: Simulación de la cobertura RSSI (dBm) con parámetros medidos

ICS TELECOM tiene la opción para exportar en un archivo con extensión .kmz la cobertura para Google Earth, en la Figura 3.27 se puede observar las cuarenta BTS que están ubicadas en Cuenca con su radio de cobertura. El radio de cobertura de cada BTS fue promediado a 1km debido a que al realizar pruebas de campo se midió el rango de cobertura de cada BTS y se realizó un promedio. Considerando las zonas suburbanas, cabe mencionar que la simulación en las zona suburbana se realizó con otra cartografía digital, esto es debido a que la cartografía digital para Cuenca tiene límites, en el apartado 3.5.1 se puede observar que en las figuras 3.12 y 3.13 el mapa está limitado y al agregar una BTS en la zona que este fuera del limite mencionado ICS TELECOM no autoriza agregar una BTS, por esa razón que las BTS de Sayausí, Narancay, Ricaurte Mercado, La Merced, Ucubamba, Baños, están simuladas con otra cartografía donde no esta presente la capa de edificios.

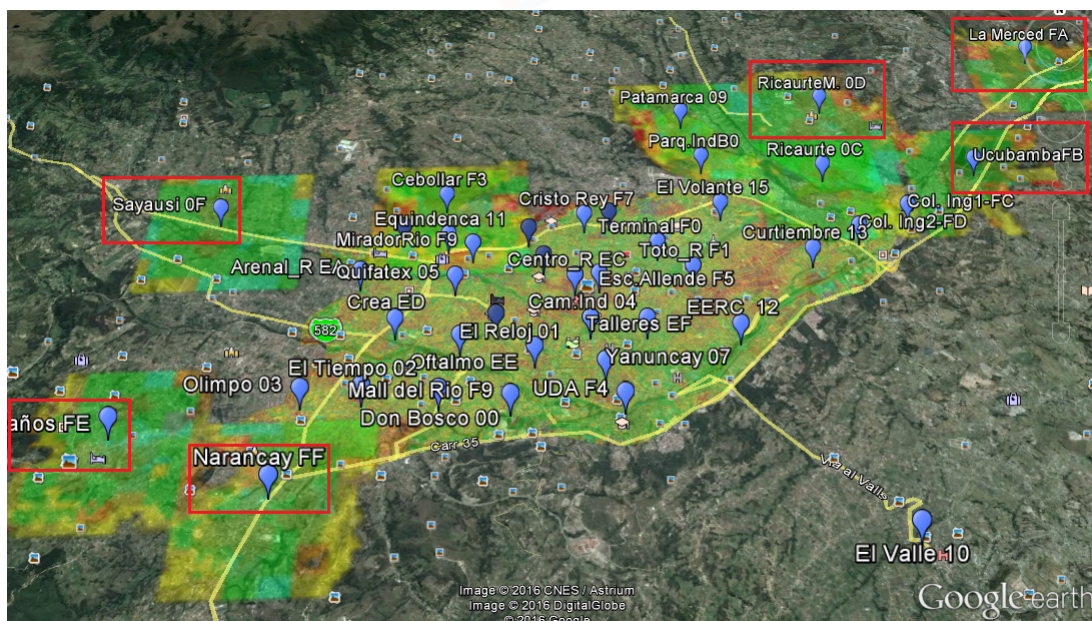


Figura 3.27: Simulación de la cobertura RSSI (dBm) con parámetros medidos de la red WiMAX de Cuenca exportado a Google Earth

A continuación se simuló la cobertura CINR de WiMAX, el significado de los colores de la predicción esta en el cuadro 3.24. En la Figura 3.28 muestra la predicción de CINR, los valores varían de 0 a 30, se puede observar que la mayoría esta de color verde esto implica que los valores de CINR estan entre 14 a 30 dB.

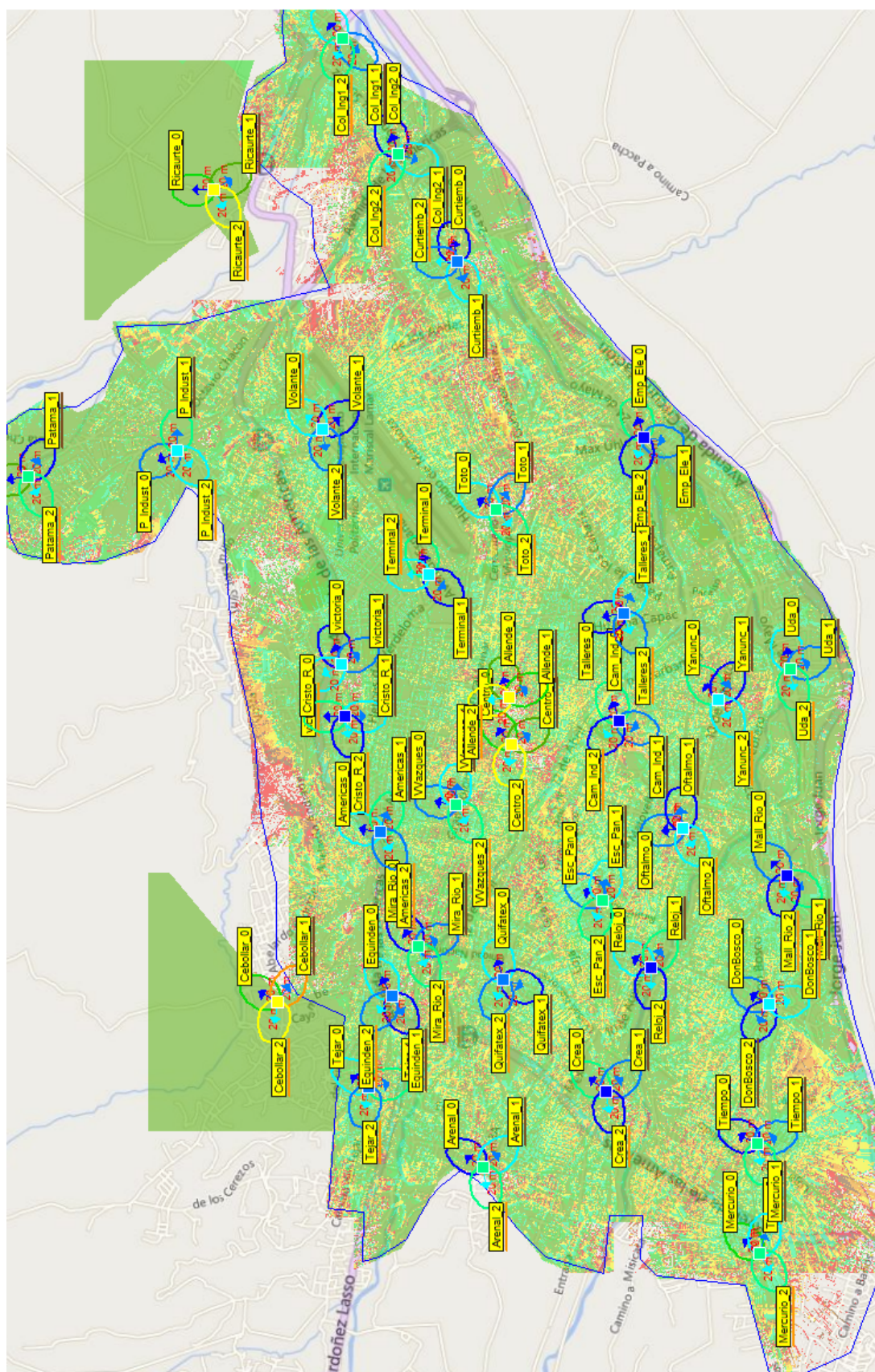


Figura 3.28: Predicción de CINR (dB) de la red WiMAX de Cuenca

Para tener una mejor apreciación se analizó la zona donde las variaciones de CINR son menores a 12dB, esto implica que la calidad de servicio percibida por el usuario de vera afectada, las zonas de color naranja y rojo están con un nivel de interferencia es alto. En la Figura 3.29 muestra las BTS Olimpo Mercurio, Yanuncay, Escuela Panamá, Centro, Mueblería Vera Vázquez, Escuela Allende y Crea hay zonas donde hay valores menores a 10 dB.

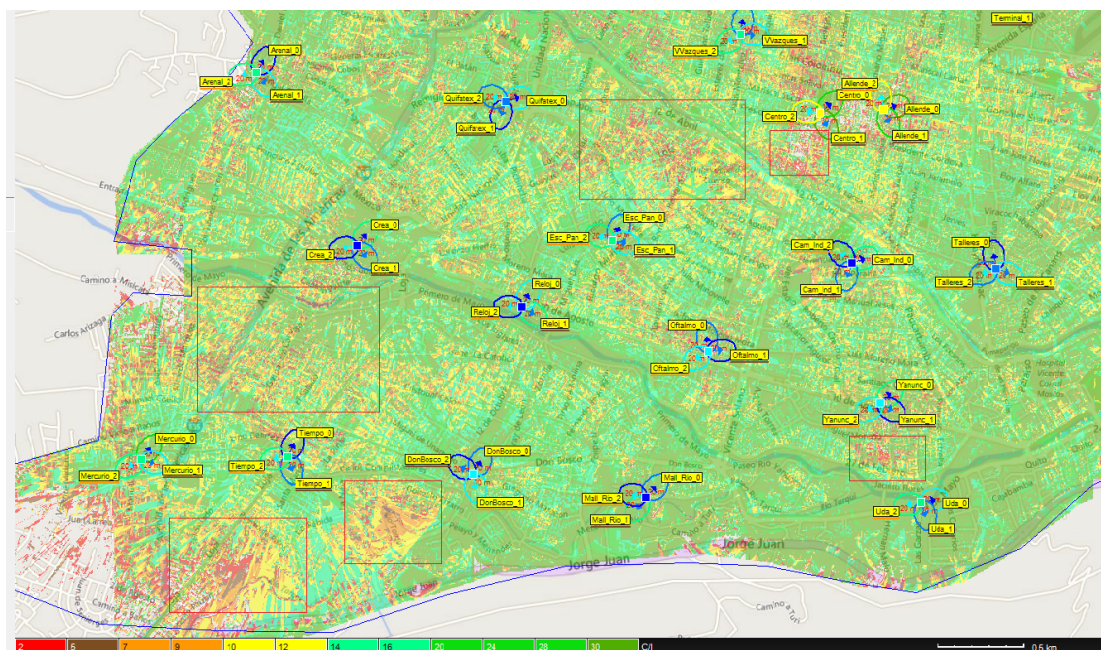
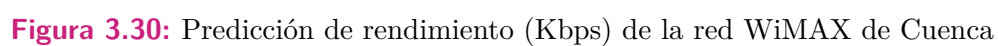


Figura 3.29: Predicción de CINR (dB) de las zonas con valores de CINR menores a 10dB

La predicción de rendimiento se muestra en la Figura 3.30, el rendimiento de la red es la velocidad de subida y bajada de los datos, para este caso es una predicción del enlace de bajada de la red WiMAX, los valores en Kbps están en la parte inferior. Se puede observar que los valores van desde 256Kbps hasta 1700Kbps que son similares a los calculados en el apartado 3.3 , las BTSs con mayor rendimiento son el Terminal Terrestre, Parque Victoria, Universidad de Azuay, El Reloj, Crea y Talleres, mientras que hay zonas de color amarillo donde la velocidad es de 3300Kbps como las BTSs Curtiembre, El Arenal, Centro.



3.6 Evaluación de los resultados de la simulación y pruebas de campo

En esta sección se evalúa los resultados de la simulación realizada con los datos de las mediciones junto con los resultados de las pruebas obtenidas en los recorridos por las calles de la ciudad. De esta forma se podrá analizar la eficiencia en las predicciones del simulador, las pruebas de recorrido fueron realizadas en las avenidas y calles principales de la ciudad.

En la Figura 3.31 muestra en color azul el recorrido por las calles de la ciudad, se puede notar en el centro histórico hay un mayor recorrido debido a que en esta zona presenta un mayor número de pérdidas de conexión en la red WiMAX móvil y además fue asignada para la implementación del mejoramiento en las BTSs Centro, Escuela Allende, Mueblaría Vera Vázquez.

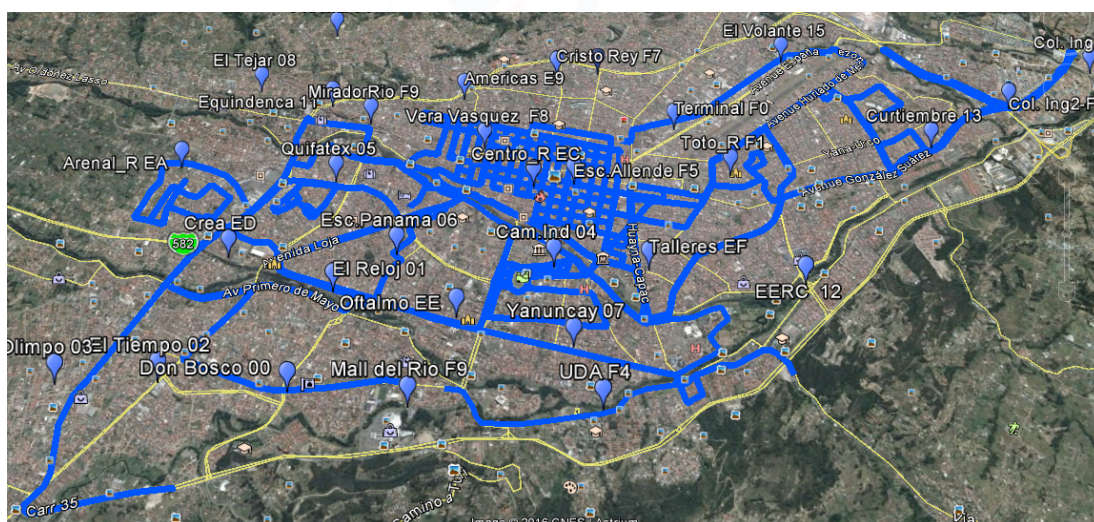


Figura 3.31: Ruta recorrida en la ciudad de Cuenca

3.6.1 Equipos para las pruebas de campo

- **Huawei USB BM338:** Las pruebas de la red WiMAX móvil se realizaron con la ayuda de este equipo (Figura 3.8) que viene integrado su software como se muestra en la figura 3.32 que registra los parámetros de WiMAX en tiempo real. En la figura se ha enumerado los datos más importantes de la siguiente manera:
 1. BSID: representa la dirección MAC del sector (antena transmisora) al que está conectado el dispositivo móvil.
 2. CINR: representa el nivel de interferencia de la señal.

3. RSSI: representa el nivel de potencia de la señal recibida.
4. IP Address: representa la dirección IP que ha sido asignado al dispositivo.

Además proporciona otros datos como el estado, la cantidad de megas descargados y subidos a la red y el porcentaje de la señal.

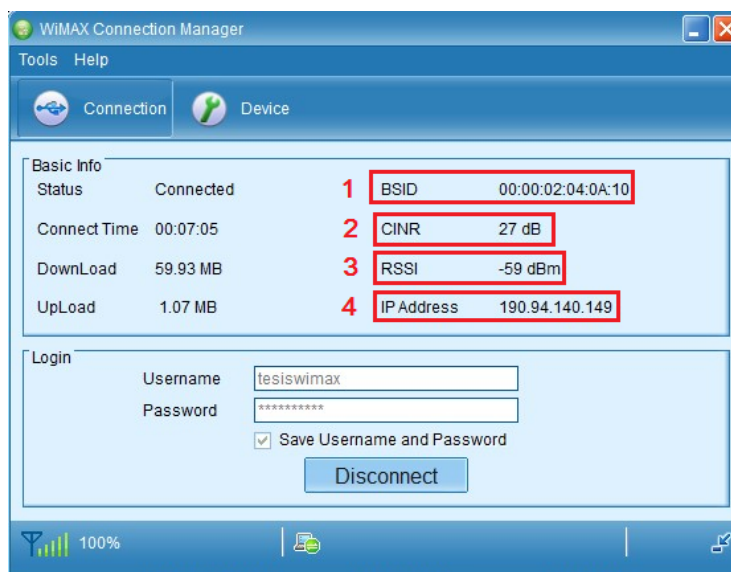


Figura 3.32: Controlador del dispositivo USB WiMAX utilizado

- **Automóvil**
- **Laptop**
- **Software Camtasia para captura de pantalla para el computador** Mediante un software de captura de la pantalla de la computadora, se logró registrar todo lo que sucede en cada prueba realizada, lo que permitió identificar el momento en que la red realiza el handoff y los lugares críticos donde la red pierde conexión. Para saber exactamente el lugar donde se realizaron las pruebas en el software utilizado también graba un audio exterior en el cual se nombraba las calles, las intersecciones entre las calles principales y secundarias, por lo que fue muy fácil encontrar las fallas de la red al momento de revisar las grabaciones del software.

3.6.2 Evaluación de las pruebas de campo

En la sección 3.5.3 se especifican las simulaciones realizadas para toda la red además en la figura 3.26 se puede observar la simulación de la cobertura de toda la red, para comparar la red simulada con los resultados de las pruebas de campo se

necesita hacer un acercamiento a la imagen 3.26, se dividió en 3 zonas críticas de la ciudad donde se pierde conexión en las pruebas de campo, la zona 1 corresponde el sur de la ciudad, la zona dos el centro de la ciudad y la zona 3 el norte de la ciudad. En la zona 1 se realizó un cotejo entre la simulación de cobertura RSSI y las pérdidas encontradas en las pruebas de campo como se muestra en la Figura 3.33, se puede notar la predicción de la cobertura de ICS TELECOM en los lugares donde el nivel de RSSI esta en los valores de -86 a -92 dBm (colores café y rojo) es muy real debido a que mediante las pruebas de campo se obtuvieron las mismas pérdidas de la señal en muchos de los lugares donde indica la predicción de la simulación. Las calles donde se perdió conexión realizando las pruebas de campo están marcadas de color rojo y se detallan en el cuadro 3.17. La zona 1 corresponde a las BTSs Americas, Mirador del Rio, Quifatex, El Arenal, Crea, Narancay, Baños y Escuela Panamá.

En la Figura 3.33 muestra

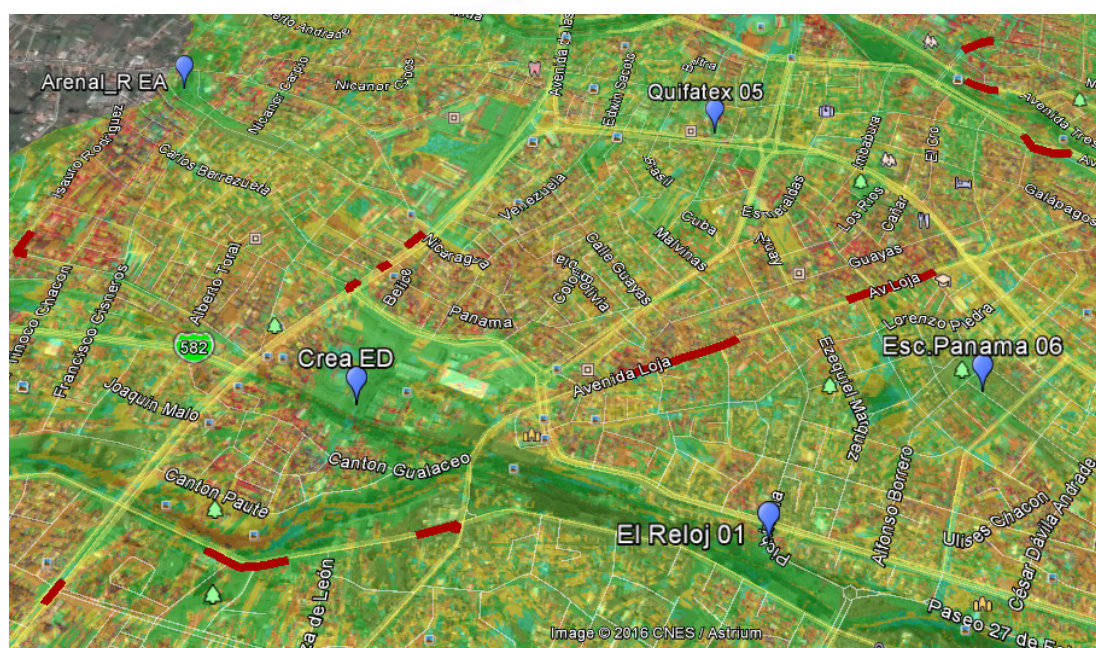


Figura 3.33: Simulación de cobertura RSSI (dBm) y pruebas realizadas en la zona 1

En la Figura 3.34 muestra un cotejo entre la simulación CINR en la zona 1 y las pérdidas encontradas en las pruebas de campo, se puede notar que hay mayor interferencia en la Av. Loja y según la predicción de ICS TELECOM y concuerda con las pruebas de campo ya que en la Av. Loja hay fallas en la red WiMAX móvil.



Figura 3.34: Simulación de CINR (dB) en la zona 1

La zona 2 corresponde el centro de la ciudad como se representa en la figura 3.35 donde se encuentran las BTSs Centro, Escuela Allende, Mublería Vera Vázquez, Cristo Rey, Parque Victoria, Mirador del Río, Americas. Se puede notar que existen muchas zonas de acuerdo a la paleta de colores de la figura 3.24 la potencia es baja por el color con la que se representa. En las zonas donde la simulación no representa con ningún color significa que ahí la potencia no se encuentra en los valores del umbral de potencia de la señal configurado en el simulador. Las calles donde se perdió conexión realizando las pruebas de campo están marcadas de color rojo y se detallan en el cuadro 3.17.

De la misma manera se tiene la simulación de interferencia (CINR) de toda la red que se observa en las figuras 3.28 y 3.29. En este caso también se realiza un acercamiento y un cotejo con las pruebas de campo en la zona centro que se puede observar en la figura 3.36 en los lugares donde se pierde conexión.



Figura 3.35: Cotejo entre simulación de cobertura RSSI (dBm) y las pérdidas encontradas en las pruebas de campo en el centro de Cuenca

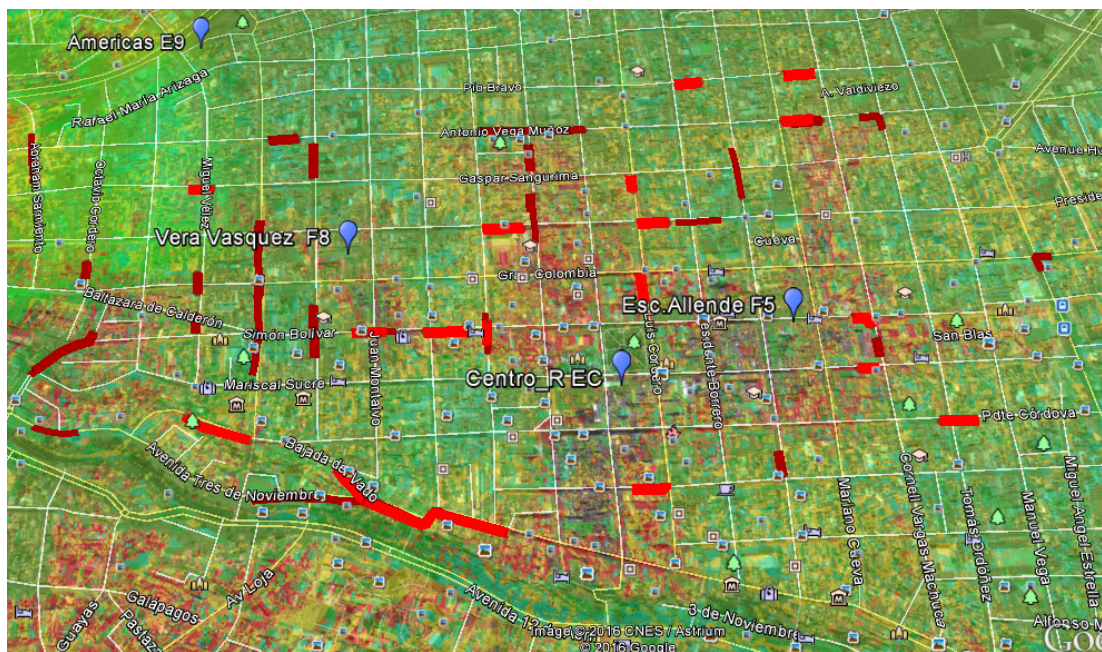


Figura 3.36: Cotejo entre simulación de cobertura CINR (dB) y pruebas realizadas en el centro

Debido al mayor número de pérdidas de conexión en el centro de Cuenca se analizó la simulación del rendimiento (velocidad de datos transmitidos) de la red

se explicó en la sección 3.5.3 y se puede observar la simulación de toda la red en la figura 3.30. En este caso al igual que en los anteriores se ha realizado un recorte de la simulación específicamente para el centro con la que se podrá ver con mejor detalle la predicción de rendimiento.

La figura 3.37 representa la predicción de rendimiento en el centro, como se puede notar, existen muchas zonas marcadas con color amarillo y tomate, esto significa que la velocidad de descarga en estas zonas estará entre los 256 Kbps y 3300 Kbps de acuerdo al simulador. Las demás zonas se pueden caracterizar claramente de acuerdo al color que se especifica en la misma imagen.

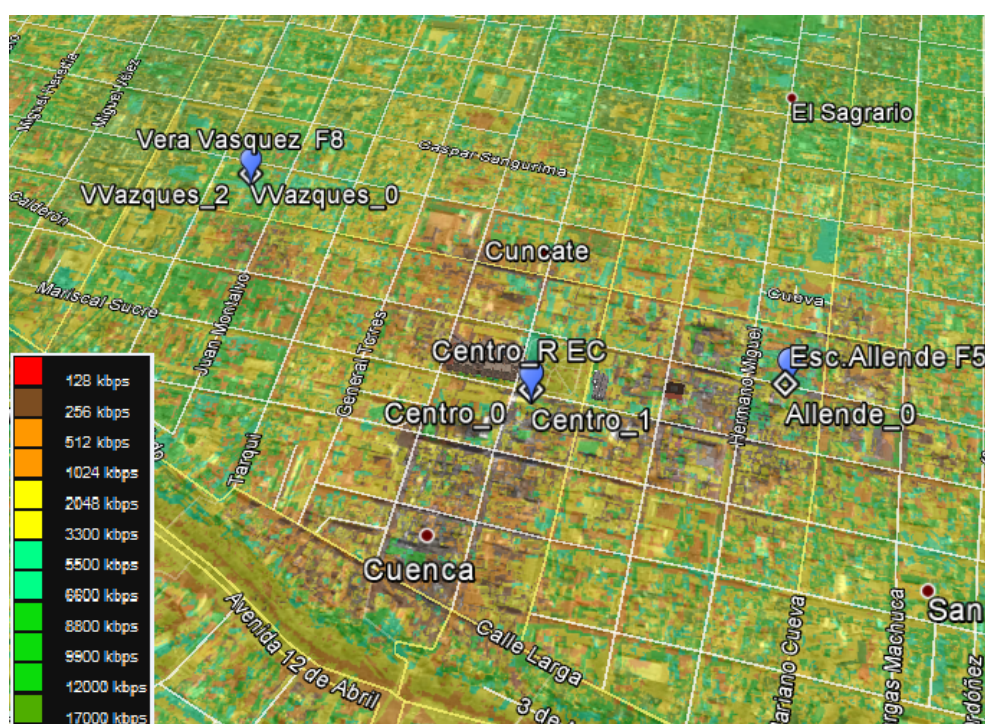


Figura 3.37: Simulación de Rendimiento (Kbps) en el centro de Cuenca

Un dato muy importante que se debe mencionar en esta predicción es que los resultados obtenidos son similares a los datos de rendimiento que soporta la red que se obtuvieron por cálculos en la sección 3.3. En dicha sección se podrá encontrar las ecuaciones y todos los parámetros utilizados, mismos que fueron proporcionados por ETAPA EP.

En último lugar se analizó la zona 3 que corresponde a la parte norte de Cuenca, este sector involucra a las BTSs Totoracocha, Terminal, El Volante, Curtiembre, Empresa Eléctrica, Colegio de Ingenieros 1 y 2. En la Figura 3.38 muestra un cotejo entre la simulación de cobertura RSSI y las calles donde se pierde conexión

En la Figura 3.39 muestra un cotejo entre la simulación de interferencia y las pruebas de campo en la zona 3, se puede notar que hay interferencia en la Av. Los Andes por el complejo deportivo Totoracocha, lo cual se corrobora con las pruebas de campo ya que se registraron niveles de interferencia altos.

En el cuadro 3.16 se detalla la dirección, la BTS, CINR, RSSI, y la dirección IP de los lugares en donde se pierde la conexión debido a que no se realiza handoff entre sectores. Se puede notar claramente que las direcciones IP son diferentes esto se da debido a que pierde la IP al momento de hacer Hard Handoff por lo que existe un lapso de tiempo en donde no se puede acceder a Internet aunque la



encia esté dentro de los
desde 1867

s donde se encontraron

Dirección	BTS (sector)	CINR (dBm)	RSSI (dBm)	Dirección IP
Pío Bravo y Borrero	Cristo Rey (1)	20	-67	191.100.8.102
Lamar y Cordero	Mirador del río (0)	11	-73	201.238.154.89
Luis Cordero y Sangurima	Cristo Rey (1)	18	-72	190.94.138.243
Huila y Hurtado de Mendoza	Ricaurte (2)	11	-68	191.100.8.60
Av. Los Andes desde calle Pachacutec hasta Yana-hurco	0	0	0	0

	BTS (sector)	CINR
	Cristo Rey (1)	2
	Mirador del río (0)	1
	Cristo Rey (1)	1
	Ricaurte (2)	1
Yana-hurco	0	0

rará la tabla completa o
 del centro de la ciudad
 entes se especificarán l
 , así como también se
 ar las modificaciones.

Cuadro 3.17: Detalle de las calles donde se encontraron pérdidas por desconexión

Dirección	BTS (sector)	CINR (dBm)	RSSI (dBm)	Dirección IP
Presidente Córdova y Tomás Ordoñez	Camara de Industrias (0)	4	-81	190.94.135.66
Mariscal Sucre y Vargas Machuca	Camara de Industrias (0)	3	-87	190.94.135.66
Simón Bolívar y Vargas Machuca	Camara de Industrias (0)	4	-84	190.94.135.66
Pío Bravo y Vargas Machuca	Centro (0)	3	-73	191.100.8.102
Vega Muños y Vargas Machuca	0	0	0	0
Vega Muños y Mariano Cueva	0	0	0	0
Mariscal Lamar y Padre Aguirre	0	0	0	0
Simón Bolívar y Tarqui	0	0	0	0
Juan Jaramillo y Luis Cordero	0	0	0	0
cruz del vado	0	0	0	0
Larga y Tarqui	0	0	0	0
sector el mercado 10 de agosto	0	0	0	0
Vega Muños y Tomás Ordoñez	0	0	0	0
Vargas Machuca entre Sucre y Bolívar	0	0	0	0
Vega Muños entre Vargas Machuca y Mariano Cueva	0	0	0	0
Juan Jaramillo y Hermano Miguel	Camara de Industrias (0)	18	-74	201.238.182.177
Padre Aguirre entre Bolívar y Gran Colombia	Mueblería (1)	6	-60	201.238.182.177
Padre Aguirre entre Lamar y Sangurima	0	0	0	0
Padre Aguirre entre Sangurima y Vega Muños	0	0	0	0
Bolívar y Esteves de Toral	0	0	0	0
Esteves de Toral entre Bolívar y Gran Colombia	0	0	0	0
Esteves de Toral entre Sangurima y Vega Muños	0	0	0	0
Vega Muños entre Esteves de Toral y Cnel. Talbot	0	0	0	0
Lamar y Cnel. Talbot	0	0	0	0
Gran Colombia y Cnel. Talbot	0	0	0	0
Bolívar y Miguel Vélez	0	0	0	0
Gran Colombia y Miguel Vélez	0	0	0	0
Octavio Cordero entre Lamar y Gran Colombia	0	0	0	0
Bolívar y Av. 3 de Noviembre	0	0	0	0
Av. Hurtado de Mendoza y Sageo	0	0	0	0
Av. Paseo de los Cañaris y Gonzalez Suarez	0	0	0	0
Av. Americas e Isabel la Católica	0	0	0	0
Av. Americas y Agustín Cuesta	0	0	0	0
Av. Americas y Francisco Aguilar	0	0	0	0
Av. Primero de Mayo entre Gaspar de Carvajal y Cieza de Leon	0	0	0	0
Av. Primero de Mayo y Loja	0	0	0	0
Isauro Rodríguez y Daniel Fernández	0	0	0	0
Av. Americas entre Rafael Estrella y Carlos Berrezueta	0	0	0	0
Ángel Paredes y Alfredo Tamayo	0	0	0	0
Av. 24 de Mayo y Camino Valle	0	0	0	0
Av. 24 de Mayo y Diego Gonzales del Barco	0	0	0	0
Av. Paraíso-Sector Parque Paraíso	0	0	0	0
Av. Solano y Aurelio Aguilar	0	0	0	0
Abraham Sarmiento y Antonio Vega Muñoz	0	0	0	0
Sangurima y Miguel Vélez	0	0	0	0
Av. Loja y Ortencia Mata	0	0	0	0
Av. Loja y Juan Bautista Vázquez	0	0	0	0
Av. 12 de Abril y Guayas	0	0	0	0
Av. de las Americas y Av. Ordoñez Lazo	0	0	0	0
Av. Hurtado de Mendoza y Av. Los Andes	0	0	0	0
Del Condor y Los Cayapas	0	0	0	0
Los Puruhaes y Cayapas	0	0	0	0

3.6.3 Análisis de la simulación para las BTS que intervienen en el centro histórico

Dado que se realizarán modificaciones únicamente en las BTS del centro de la ciudad se realizó una simulación de cada BTS por separado para poder identificar hacia está con deficiencia la señal y que sector está involucrado. Se realiza un cotejo entre las pérdidas encontradas y la BTS Centro como lo muestra la figura 3.40. En la figura se puede observar como está la cobertura de los tres sectores y claramente se puede notar que la señal es deficiente ya que las pérdidas encontradas concuerdan con la simulación. Los mayores problemas se tienen en las calles Benigno Malo con los sectores 1 y 2 cuyos lóbulos laterales se bloquean por dos estructuras metálicas

para antenas de que están junto a la BTS Centro. Otro problema se tiene con los sectores 0 y 2 cuyas señales están bloqueadas por la Catedral generándose pérdidas en la calle Padre Aguirre.

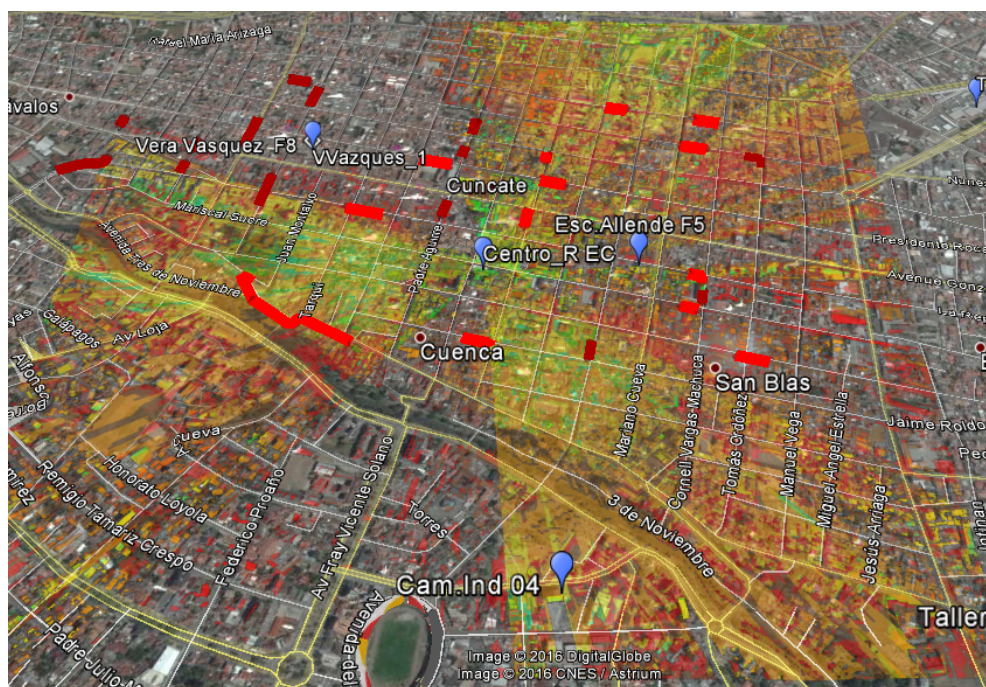


Figura 3.40: Simulación de cobertura RSSI (dBm) en la BTS centro

De la misma manera en la figura 3.41 se puede observar la predicción de cobertura para la BTS Mueblería Vera. En la figura muestra que la BTS de Mueblería Vera no tiene alto alcance de cobertura debido a que los ángulos de inclinación se encuentran bajos (-5 grados), además no tiene cobertura en la calle Padre Aguirre donde existen pérdidas de Internet en WiMAX móvil.

Otra BTS analizada es la de Escuela Allende cuya predicción de cobertura se puede observar en la figura 3.42. Se observa el cotejo entre la simulación de predicción de cobertura RSSI y las pérdidas encontradas en las pruebas de campo.

Es necesario comparar las pérdidas encontradas con la predicción de cobertura de las tres BTSs juntas por lo que se presenta la cobertura junto con las pérdidas encontradas que se puede observar en la figura 3.43. En esta figura se observa como está la red antes de realizar cambios. Se puede decir que la predicción es muy cercana a la realidad debido a que las pérdidas encontradas coinciden con las pérdidas que se tienen la cobertura de las tres BTSs, sin embargo se debe mencionar que existen lugares donde a pesar que la simulación predice niveles



Figura 3.42: Simulación de cobertura RSSI (dBm) en la BTS Escuela Allende

Las correcciones que se realiza para la red y su respectiva implementación en las tres BTSs de Mueblería Vera, Escuela Allende y Centro se especifican en el apartado final de este capítulo en la sección 3.8.1.

3.6.4 Análisis de los usuarios fijos antes de las modificaciones

Antes de proceder a modificar la red fue necesario analizar el estado y ubicación de los usuarios que poseen equipos fijos y que dependen de la orientación de las antenas. Debido a que la red tiene usuarios activos no se puede simplemente mover las antenas ya que no se puede dejar sin servicio a ningún usuario. Teniendo en cuenta que las modificaciones se realizarán en tres BTSs del centro de la ciudad, entonces se analizaron los usuarios con equipos fijos en este sector. Se realizó un filtro de acuerdo a las direcciones de cada usuario y al equipo que disponían, los datos fueron facilitados por ETAPA EP. Una vez filtrada la información se ubicó a cada usuario en el mapa como lo representa la figura 3.45. Los usuarios se han representado por números, muchos de ellos no se encontraron conectados en el

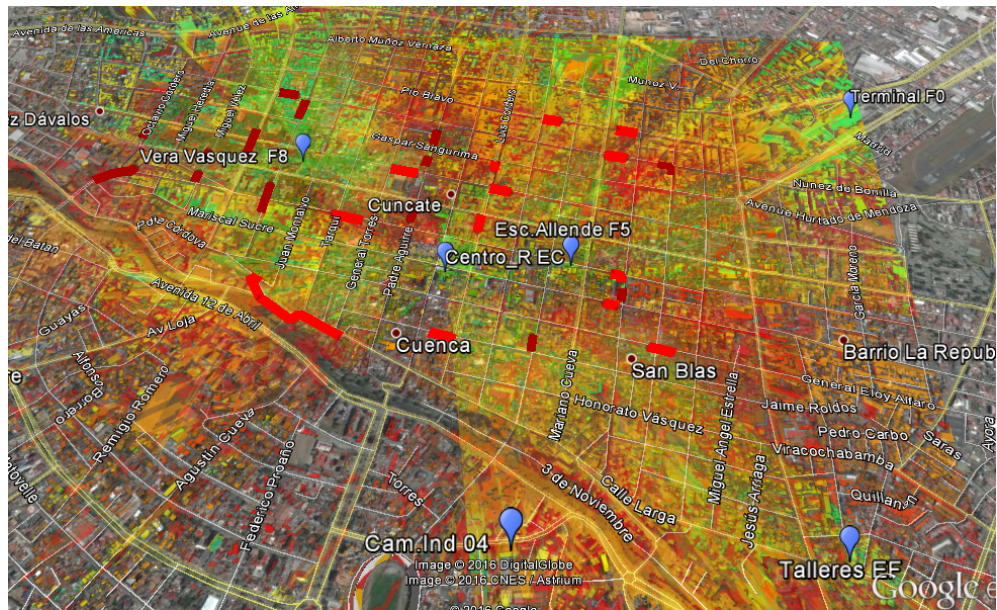


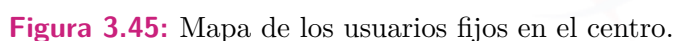
Figura 3.43: Simulación de cobertura RSSI (dBm) de las BTSs Centro, Escuela Allende y Mueblería Vera Vasquez



Figura 3.44: Simulación de cobertura de los sectores de otras BTSs que intervienen en el centro excepto Centro, Escuela Allende y Mueblería Vera Vasquez

sistema de gestión M2000 de la red WiMAX, mientras que los que sí aparecen en el gestor se les identificó por su número y BTS.

Luego de ubicar a los usuarios en el mapa se dibujaron las orientaciones de los haces de las antenas para poder analizar como están los usuarios actualmente y



Otra de las ventajas de tener a cada sector diferenciado por su color es que se puede relacionar con los usuarios que están conectados a ese sector. Ya que se modificarán solo las tres BTSs antes mencionadas, se realizó un filtro en el gestor separando únicamente a los usuarios conectados a dichas BTSs. En la figura 3.47 se puede observar a cada usuario diferenciado por el color que especifica a que BTS está conectado y específicamente a que sector pertenece. Así por ejemplo, el usuario 22 centro es de color rojo y significa que está conectado al sector 2 de la BTS Centro que también es de color rojo. Para las demás BTSs se procede de la misma manera. En total son 20 los usuarios fijos que se verían afectados por las modificaciones que se realizarán.

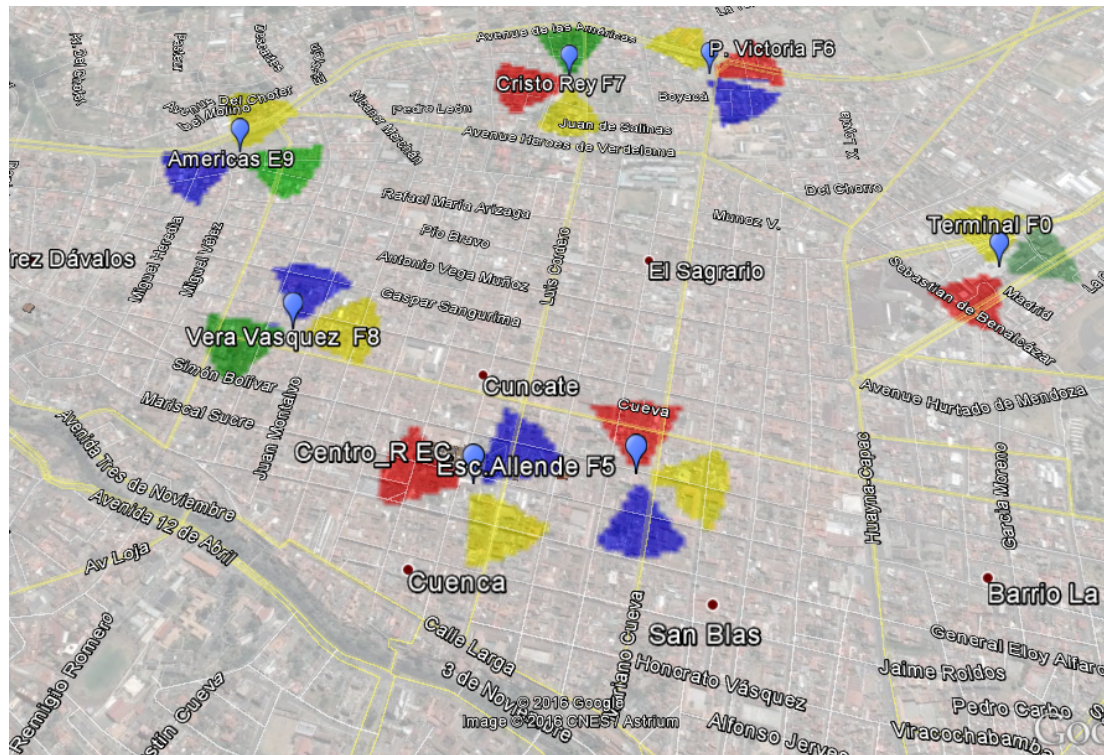


Figura 3.46: Dirección del haz principal de cada antena de las BTS del centro.

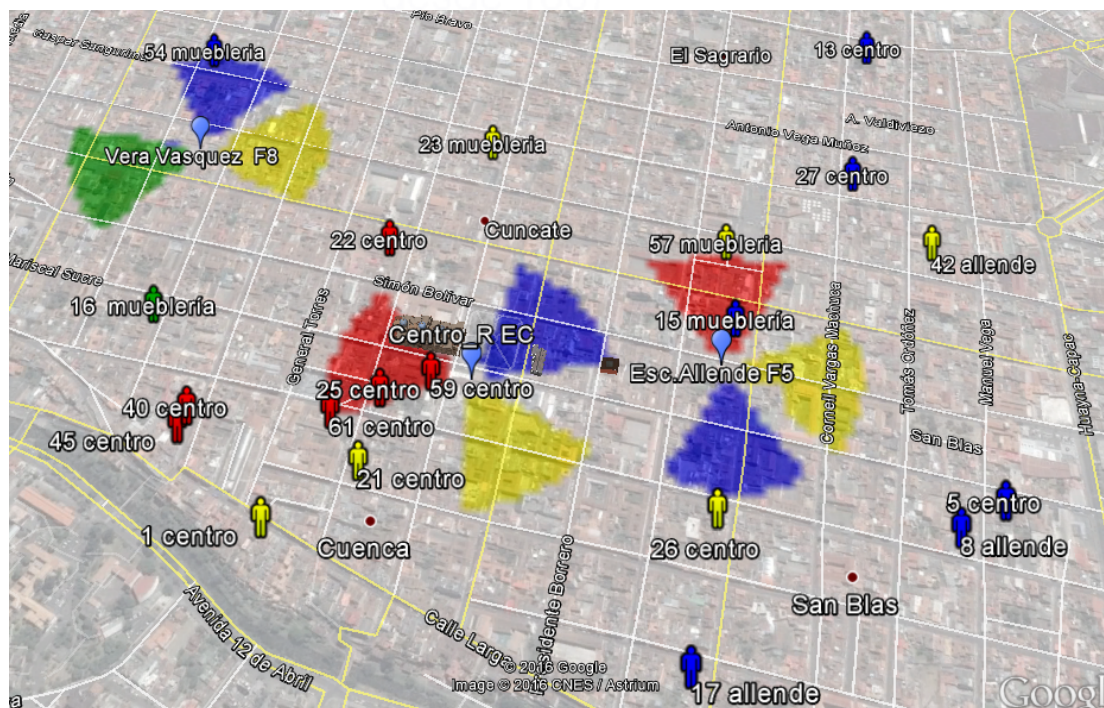


Figura 3.47: Usuarios definidos por el color del sector al que están conectados .

3.6.5 Obtención de datos de los usuarios fijos en el gestor de WiMAX

Dentro del gestor de WiMAX se tiene la posibilidad de obtener toda la información de usuarios de la red en la capa física y en la capa de red. Para acceder a los datos solo se necesita de los comandos que permiten filtrar la información. En el caso de los usuarios, para obtener los datos se necesita la dirección MAC del equipo y del comando DSP MSINFO, este comando permite obtener el nivel de interferencia (CINR) y el nivel de potencia (RSSI) que está recibiendo el equipo del usuario. Para saber el sector al que está conectado se necesita del comando (MSOINFORMATION).

En el caso de la BTS Centro se encontró que están conectados 12 usuarios fijos distribuidos entre sus tres sectores con las características que se especifican en el cuadro 3.18. Para proteger la identidad de los usuarios, se les ha identificado con el número con el que fueron ubicados en el mapa.

Cuadro 3.18: Usuarios Fijos en la BTS Centro

Cliente	MAC_Equipo	Calle Principal	Calle Secundaria	BTS-Sector	RSSI DL	RSSI UL	CINR DL	CINR UL
1	00210705db2a	Calle Larga	Santa Teresa	centro-1	-61	-105	11	22
5	002107237808	Manuel Vega	Mariscal Sucre	centro-0	-72	-105	10	23
13	002107238194	Cnel.Vargas Machuca	Rafael Maria Arizaga	centro-0	-69	-105	11	20
21	0021072384be	Juan Jaramillo	Padre Aguirre	centro-1	-61	-103	9	11
22	00210723818c	Padre Aguirre	Gran Colombia	centro-2	-67	-107	28	22
25	002107237baa	Padre Aguirre	Presidente Cordova	centro-2	-44	-105	20	22
26	002107237f32	Presidente Cordova	Mariano Cueva	centro-1	-67	-103	23	25
27	002107237f3c	Gaspar Sangurima	Cnel.Vargas Machuca	centro-0	-67	-105	17	23
40	002107237986	Tarqui	Presidente Cordova	centro-2	-69	-105	19	22
45	002107237c54	Tarqui	Presidente Cordova	centro-2	-83	-114	14	14
59	002107237ce2	Benigno Malo	Mariscal Sucre	centro-2	-67	-105	23	23
61	002107237b2e	Presidente Cordova	Padre Aguirre	centro-2	-56	-108	23	19

En el caso de Escuela Allende se encontraron 3 usuarios conectados y las características de cada uno se encuentran en detalle en el cuadro 3.19.

Cuadro 3.19: Usuarios Fijos en la BTS Escuela Allende

Cliente	MAC_Equipo	Calle Principal	Calle Secundaria	BTS-Sector	RSSI DL	RSSI UL	CINR DL	CINR UL
8	002107237aac	Presidente Cordova	Manuel Vega	Allende-1	-72	-103	13	23
17	002107237d02	Mariano Cueva	Honorato Vasquez	Allende-1	-55	-101	26	24
42	002107237ee4	Tomás Ordoñez	Mariscal Lamar	Allende-0	-77	-107	16	19

Finalmente se tienen las características de los usuarios conectados a Mueblería Vera Vasquez, en este caso se encontraron 5 usuarios conectados como se puede revisar en el cuadro 3.20

Luego de realizar las modificaciones se determinará como se han visto afectados los usuarios fijos o si han migrado hacia otras BTSs cercanas.

Cuadro 3.20: Usuarios Fijos en la BTS Mueblería Vera Vasquez

Cliente	MAC_Equipo	Calle Principal	Calle Secundaria	BTS-Sector	RSSI DL	RSSI UL	CINR DL	CINR UL
15	002107237d06	Gran Colombia	Mariano Cueva	Mueblería-0	-75	-108	23	17
16	002107237ce6	Juan Montalvo	Mariscal Sucre	Mueblería-2	-60	-101	30	25
23	00210722944a	Gaspar Sangurima	Benigno Malo	Mueblería-1	-58	-103	13	24
54	2,11E+09	Gaspar Sangurima	Esteves de Toral	Mueblería-0	-44	-102	28	24
57	00210722935a	Mariscal Lamar	Mariano Cueva	Mueblería-1	-53	-102	25	26

3.7 Propuesta de ajustes en la red para el mejoramiento de calidad de servicio.

En este apartado se realiza una propuesta de mejoramiento de la calidad de servicio a los usuarios de la red WiMAX fijo y móvil, a continuación se detallan los problemas de la red y sus posibles soluciones.

Problema: En WiMAX móvil al viajar a una velocidad de entre 30 a 60km/h el equipo móvil se desconecta. **Causas:** - La potencia está en valores por debajo del umbral de recepción del dispositivo móvil, como consecuencia pierde la dirección ip, el porcentaje de la señal es 0 %. - Existen vecindades que no están configuradas por lo tanto no realiza handoff con sus sectores vecinos. - Existe altos niveles interferencia (menores a 10dB)

Soluciones: - Incrementar la potencia de la antena transmisora (máximo hasta 38.4dBm) del sector que presenta el problema para reducir la interferencia. - Verificar la configuración de las vecindades de la BTS que se desconecto para que se realice un handoff correcto.

Problema: En WiMAX fijo el equipo de usuario se conecta a una BTS, después se conecta a otra BTS y la conexión es inestable.

Solución: Configurar el equipo de usuario para que se conecte a una sola BTS debido a que existe solapamiento de cobertura de varias BTSs. - Realizar un movimiento de azimut de la zona afectada por las BTSs que cubren el mismo sitio. -Realizar una modificación de tilt para restringir cobertura y cubrir la zona específica.

Problema: En WiMAX fijo y móvil el equipo de usuario está conectado a Internet, el porcentaje de señal es mayor a 60 %, pero no puede navegar en Internet y en el software de WiMAX indica un nivel de CINR menor a 10dB.

Causas: - Existen BTSs con sectores configurados en la misma frecuencia. **Solución:** Realizar el movimiento de azimut de las antenas transmisoras que pertenecen a los sectores con la misma frecuencia para eliminar la interferencia. - Incrementar la potencia en los sectores donde hay mayor interferencia.

Problema: En WiMAX fijo y móvil el equipo de usuario está conectado a Internet, el porcentaje de señal es mayor a 60 %, pero no puede navegar en Internet y en el software de WiMAX indica un nivel de RSSI menor a -82dBm

Causas: El tilt de las antenas transmisoras se encuentran en valores menores a -5°. - La potencia de transmisión es baja en ese sector. - Existen BTSs con sectores configurados en la misma frecuencia.

Solución: Realizar una modificación de tilt a valores mayores a -5°. - Configurar a la máxima potencia (38.4 dBm) los sectores donde los valores son menores a -82dBm. - Realizar el movimiento de azimuth de las antenas transmisoras que pertenecen a los sectores con la misma frecuencia para evitar que las potencias de las antenas transmisoras se anulen.

Al analizar los problemas en la red WiMAX tanto fija como móvil y sus posibles soluciones se realizó una propuesta que considera los siguientes puntos.

- Análisis de la configuración actual de vecindades para realizar el traspaso de celdas (handoff).
- Propuesta de configuración de vecindades para realizar un handoff correcto en WiMAX móvil.
- Propuesta movimiento de azimuths evitando la interferencia entre portadoras para el mejoramiento de cobertura mediante la simulación en ICS TELECOM.
- Propuesta de movimiento de ángulos de inclinación para restringir la cobertura en zonas con solapamiento y evitar la interferencia.

3.7.1 Verificación de la configuración actual de vecindades para realizar el traspaso de celdas (handoff)

Con el sistema de gestión M2000 de Huawei que es un sistema usado en redes WiMAX, CDMA, GSM, etc. Con M2000 se administra las BTSs instaladas en la red WiMAX en ETAPA EP, como se mencionó anteriormente hay 40 BTSs correspondientes a la zona urbana de Cuenca que están registradas en el software para su gestión y mantenimiento. Se usó la opción (*MML command*) en el que aparece una ventana principal como se muestra en la Figura 3.48.

1. Indica que está en la opción MML command.
2. Indica el listado de BTSs configuradas en el sistema, se puede observar que las BTSs configuradas son las DBS3900 mencionadas en el apartado 3.2.2.

3. Indica la ayuda con la especificación de todos los comandos disponibles del sistema.
4. En este espacio se digita el comando, el comando que se usó es LST NBR.
5. Es la ventana para visualización de resultados del comando LST NBR.

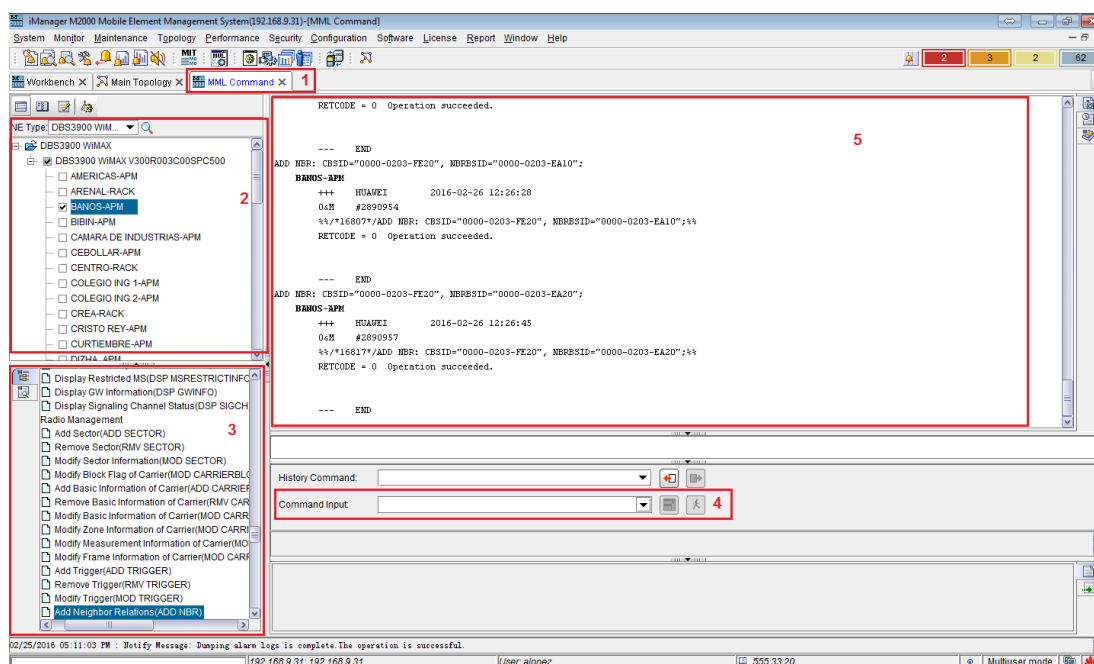


Figura 3.48: Ventana MML command del sistema de gestión M2000 de la red WiMAX

El 15 de diciembre del 2015 se exportó la información de configuración de las vecindades por sector de cada BTS para realizar un análisis de las vecindades de cada sector, en el sistema M2000 al introducir el comando LST NBR y seleccionando todas las BTSs, como resultado se obtiene un listado de vecindades de cada sector de las BTSs. Por ejemplo en los cuadros 3.21, 3.22, 3.23 muestra el listado de vecindades solamente de la BTS Escuela Allende de la red WiMAX, dado que son 40 BTSs el listado completo de todas las BTSs seria alrededor de 2000 vecindades. Como se puede observar en el lado izquierdo de la tabla está el identificador del sector analizado que para este caso Escuela Allende y la columna de lado muestra el identificador de todos los sectores vecinos, en la siguiente columna se encuentra el nombre de los sectores analizados y en la última columna el nombre de los sectores vecinos.

Después de analizar todas las vecindades de las BTSs se pudo encontrar identificadores de sectores incorrectos, como es el caso de las BTSs Baños y Camara de Industrias. Para el caso de Baños sus vecindades mas cercanas son los sectores de

Cuadro 3.21: Vecindades BTS Escuela Allende sector 0

ID Sector	ID Sector Vecino	Nombre Sector	Nombre Sector Vecino
0000-0203-F500	0000-0203-F510	Allende_0	Allende_1
0000-0203-F500	0000-0203-F520	Allende_0	Allende_2
0000-0203-F500	0000-0203-F010	Allende_0	Terminal_1
0000-0203-F500	0000-0203-F610	Allende_0	Victoria_1
0000-0203-F500	0000-0203-F710	Allende_0	Cristo_Rey_1
0000-0203-F500	0000-0203-EF00	Allende_0	Talleres_0
0000-0203-F500	0000-0203-F120	Allende_0	Toto_2
0000-0203-F500	0000-0203-F020	Allende_0	Terminal_2
0000-0203-F500	0000-0203-EF20	Allende_0	Talleres_2
0000-0203-F500	0000-0204-0400	Allende_0	Cam_Industrias_0
0000-0203-F500	0000-0203-F600	Allende_0	Victoria_0
0000-0203-F500	0000-0203-F100	Allende_0	Toto_0
0000-0203-F500	0000-0203-F000	Allende_0	Terminal_0
0000-0203-F500	0000-0203-F700	Allende_0	Cristo_Rey_0
0000-0203-F500	0000-0203-F720	Allende_0	Cristo_Rey_2
0000-0203-F500	0000-0203-F620	Allende_0	Victoria_2
0000-0203-F500	0000-0204-0410	Allende_0	Cam_Ind_1
0000-0203-F500	0000-0204-0420	Allende_0	Cam_Ind_2

Cuadro 3.22: Vecindades BTS Escuela Allende sector 1

ID Sector	ID Sector Vecino	Nombre Sector	Nombre Sector Vecino
0000-0203-F510	0000-0203-F500	Allende_1	Allende_0
0000-0203-F510	0000-0203-F520	Allende_1	Allende_2
0000-0203-F510	0000-0203-EF00	Allende_1	Talleres_0
0000-0203-F510	0000-0203-EF20	Allende_1	Talleres_2
0000-0203-F510	0000-0203-F010	Allende_1	Terminal_1
0000-0203-F510	0000-0204-0400	Allende_1	Cam_Industrias_0
0000-0203-F510	0000-0204-0420	Allende_1	Cam_Industrias_2
0000-0203-F510	0000-0203-EF10	Allende_1	Talleres_1
0000-0203-F510	0000-0203-EC00	Allende_1	Centro_0
0000-0203-F510	0000-0203-F610	Allende_1	Victoria_1
0000-0203-F510	0000-0203-F120	Allende_1	Toto_2
0000-0203-F510	0000-0203-F710	Allende_1	Cristo_Rey_1
0000-0203-F510	0000-0203-EC10	Allende_1	Centro_1
0000-0203-F510	0000-0203-F700	Allende_1	Cristo_Rey_0
0000-0203-F510	0000-0203-F720	Allende_1	Cristo_Rey_2
0000-0203-F510	0000-0203-F600	Allende_1	Victoria_0
0000-0203-F510	0000-0203-F620	Allende_1	Victoria_2
0000-0203-F510	0000-0204-0410	Allende_1	Cam_Ind_1

las BTSs Arenal, Olimpo Mercurio, Narancay y Crea, mientras que los identificadores de la BTS Arenal están incorrectos 00000204EA , ya que el identificador correcto es 00000203EA como se muestra en el cuadro 3.24.

Para el caso de Cámara de Industrias sus vecindades mas cercanas son los sectores de las BTSs Centro, Talleres, Yanuncay, Oftalmoláser, Escuela Panamá, Escuela Allende, Curtiembre y UDA, los identificadores de la BTS Escuela Allende son 0000-0203-F5, pero el identificador correcto es 0000-0204-F5 como se muestra en el siguiente cuadro.

Luego de la verificación de los identificadores de sectores incorrectos estos fueron eliminados, y se agregaron los identificadores correctos. Como se mencionó anteriormente cada BTS tiene tres sectores y son vecinos entre sí, por lo tanto

Cuadro 3.23: Vecindades BTS Escuela Allende sector 2

ID Sector	ID Sector Vecino	Nombre Sector	Nombre Sector Vecino
0000-0203-F520	0000-0203-F500	Allende_2	Allende_0
0000-0203-F520	0000-0203-F510	Allende_2	Allende_1
0000-0203-F520	0000-0203-F710	Allende_2	Cristo_Rey_1
0000-0203-F520	0000-0203-F610	Allende_2	Victoria_1
0000-0203-F520	0000-0203-F010	Allende_2	Terminal_1
0000-0203-F520	0000-0203-F720	Allende_2	Cristo_Rey_2
0000-0203-F520	0000-0203-EC00	Allende_2	Centro_0
0000-0203-F520	0000-0203-F600	Allende_2	Victoria_0
0000-0203-F520	0000-0203-F810	Allende_2	VeraVázquez_1
0000-0203-F520	0000-0203-EC10	Allende_2	Centro_1
0000-0203-F520	0000-0203-F020	Allende_2	Terminal_2
0000-0203-F520	0000-0203-EF00	Allende_2	Talleres_0
0000-0203-F520	0000-0203-F620	Allende_2	Victoria_2
0000-0203-F520	0000-0203-F700	Allende_2	Cristo_Rey_0
0000-0203-F520	0000-0204-0400	Allende_2	Cam_Ind_0
0000-0203-F520	0000-0204-0410	Allende_2	Cam_Ind_1
0000-0203-F520	0000-0204-0420	Allende_2	Cam_Ind_2

Cuadro 3.24: Vecindades incorrectas en la BTS Baños

ID Sector	ID Sector Vecino	Nombre Sector	Nombre Sector Vecino
0000-0203-FE00	0000-0204-EA00	Baños_0	Incorrecto
0000-0203-FE00	0000-0204-EA10	Baños_0	Incorrecto
0000-0203-FE00	0000-0204-EA20	Baños_0	Incorrecto
0000-0203-FE10	0000-0204-EA00	Baños_1	Incorrecto
0000-0203-FE10	0000-0204-EA10	Baños_1	Incorrecto
0000-0203-FE10	0000-0204-EA20	Baños_1	Incorrecto
0000-0203-FE20	0000-0204-EA00	Baños_2	Incorrecto
0000-0203-FE20	0000-0204-EA10	Baños_2	Incorrecto
0000-0203-FE20	0000-0204-EA20	Baños_2	Incorrecto
0000-0203-FE20	0000-0204-EA20	Baños_2	Incorrecto

deben estar configurados como vecinos los sectores pertenecientes a esa BTS para realizar handoff a nivel de BTS, además si hay una o varias BTSs vecinas los sectores pertenecientes a las BTSs vecinas también deben estar configurados. Para entender esto se propone un ejemplo real, en la BTS Centro su vecina más cercana es la BTS Escuela Allende por lo tanto en la configuración de la BTS Centro debe estar registrada sus tres sectores, los sectores de la BTS Escuela Allende y viceversa, es decir en la configuración de la BTS Escuela Allende debe estar

Cuadro 3.25: Vecindades incorrectas en la BTS Cámara de Industrias

ID Sector	ID Sector Vecino	Nombre Sector	Nombre Sector Vecino
0000-0204-0400	0000-0204-F500	Camara de Ind_0	Incorrecto
0000-0204-0400	0000-0204-F510	Camara de Ind_0	Incorrecto
0000-0204-0400	0000-0204-F520	Camara de Ind_0	Incorrecto
0000-0204-0410	0000-0204-F500	Camara de Ind_1	Incorrecto
0000-0204-0410	0000-0204-F510	Camara de Ind_1	Incorrecto
0000-0204-0410	0000-0204-F520	Camara de Ind_1	Incorrecto
0000-0204-0420	0000-0204-F500	Camara de Ind_2	Incorrecto
0000-0204-0420	0000-0204-F510	Camara de Ind_2	Incorrecto
0000-0204-0420	0000-0204-F520	Camara de Ind_2	Incorrecto

registrada sus tres sectores y los sectores de la BTS Centro. Es por esa razón que se verifico lo siguiente:

- Las vecindades tanto de ida como de regreso para las 40 BTSs.
- Las vecindades que deberían estar configuradas para lograr un handoff correcto para la red móvil de WiMAX.

Con la verificación de vecindades se encontraron vecindades por configurar, además se encontró que la BTS de Mirador del Río no tenía ninguna vecindad declarada, por lo que no se realiza handoff en toda la zona que cubre la BTS mencionada.

3.7.2 Propuesta de configuración de vecindades para el mejoramiento de handoff en WiMAX móvil.

Las vecindades que faltan por configurar en las BTSs de la red WiMAX se listan en el cuadro 3.26:

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

Cuadro 3.26: Listado de vecindades por configurar para WiMAX móvil

ID Sector	ID Sector Vecino	Nombre Sector	Nombre Sector Vecino
0000-0203-E900	0000-0204-1100	Americas_0	Equindencia_0
0000-0204-0C00	0000-0204-1500	Ricaurte_0	El Volante_0
000002041500	000002040C20	volante_0	Ricaurte_2
0000-0204-0B10	0000-0203-FD20	Parque Industrial_1	Ingenieros 2_2
0000-0203-EA10	0000-0204-0300	Arenal_1	Olimpo_0
0000-0203-FE00	0000-0203-EA10	Baños_0	Arenal_1
0000-0203-FE10	0000-0203-EA20	Baños_1	Arenal_2
0000-0203-FE00	0000-0204-0220	Baños_0	El Tiempo_2
0000-0203-F500	0000-0204-0400	Allende_0	Camara_0
00000203EC00	00000203F500	Centro_0	Allende_0
0000-0203-F500	0000-0203-F810	Escuela Allende_0	Mueblería Vera_1
0000-0203-F520	0000-0203-F800	Allende_2	Vera_Vázquez_0
0000-0203-F810	0000-0203-F500	Vera_Vázquez_1	Allende_0
0000-0203-F500	0000-0203-EC00	Allende_0	Centro_0
0000-0203-F800	0000-0203-F520	VeraVázquez_0	Allende_2
0000-0204-0100	0000-0203-ED20	El Reloj_0	Crea_2
0000-0204-0110	0000-0204-0410	El Reloj_1	Camara de Ind_1
0000-0204-0110	0000-0203-ED00	El Reloj_1	Crea_0
0000-0204-0110	0000-0203-ED10	El Reloj_1	Crea_1
0000-0204-0110	0000-0203-ED20	El Reloj_1	Crea_2
0000-0204-0100	0000-0203-EC20	El Reloj_0	Centro_2
0000-0204-0110	0000-0204-0720	El Reloj_1	Yanuncay_2
0000-0203-EE20	0000-0204-0000	Oftalmo_2	DonBosco_0
0000-0203-EE20	0000-0204-0000	Oftalmolaser_2	Don Bosco_0
0000-0203-EE20	0000-0204-0010	Oftalmolaser_2	Don Bosco_1
0000-0204-0010	0000-0204-0720	Don Bosco_1	Yanuncay_2
0000-0204-1100	0000-0203-E900	Equindencia_0	Americas_0
000002040C20	000002041500	Ricaurte_2	volante_0
0000-0203-FD20	0000-0204-0B10	Ingenieros 2_2	Parque Industrial_1
0000-0204-0300	0000-0203-EA10	Olimpo_0	Arenal_1
0000-0203-EA10	0000-0203-FE00	Arenal_1	Baños_0
0000-0203-EA20	0000-0203-FE10	Arenal_2	Baños_1
0000-0204-0220	0000-0203-FE00	El Tiempo_2	Baños_0
0000-0204-0400	0000-0203-F500	Camara_0	Allende_0
00000203F500	00000203EC00	Allende_0	Centro_0
0000-0203-F810	0000-0203-F500	Mueblería Vera_1	Escuela Allende_0
0000-0203-F520	0000-0203-F800	Allende_2	Vera_Vázquez_0
0000-0203-F500	0000-0203-F810	Allende_0	Vera_Vázquez_1
0000-0203-EC00	0000-0203-F500	Centro_0	Allende_0
0000-0203-F520	0000-0203-F800	Allende_2	VeraVázquez_0
0000-0204-0410	0000-0204-0110	Camara de Ind_1	El Reloj_1
0000-0203-EC20	0000-0204-0100	Centro_2	El Reloj_0

3.7.3 Propuesta movimiento de azimuts y ángulos de inclinación de las antenas sectoriales

En el apartado 3.6 se comparó la simulación de la red WiMAX con las pruebas de campo realizadas concluyendo que las predicciones de ICS TELECOM son aceptables para realizar una simulación de mejoramiento de la red, en la simulación

se efectuaron modificaciones de ángulos de inclinación y azimut de las antenas sectoriales para determinar el comportamiento de la cobertura en zonas donde la calidad de servicio percibida por el usuario es baja. Por otra parte, mediante las predicciones de la simulación para mejorar la red se pretende eliminar la interferencia entre portadoras.

Los parámetros de azimut y ángulos de inclinación de las antenas sectoriales de la red WiMAX actuales y propuestos para la nueva red mejorada de acuerdo a las simulaciones se pueden ver en el cuadro 3.27.

Cuadro 3.27: Propuesta de azimuts y ángulos de inclinación las antenas sectoriales de la red WiMAX

Sector	Frecuencia	Azimut (°) Actual	Tilt (°) Actual	Azimut (°) Propuesto	Tilt (°) Propuesto
Americas_0	3492.5	10	0	10	0
Americas_1	3582.5	110	-3	110	-5
Americas_2	3592.5	240	-5	220	-5
Arenal_0	3482.5	35	-3	35	-3
Arenal_1	3492.5	140	-4	140	-4
Arenal_2	3582.5	260	0	260	0
Baños_0	3592.5	105	-5	105	-5
Baños_1	3482.5	175	0	175	0
Baños_2	3492.5	10	0	10	0
Camara de Industrias_0	3582.5	70	-4	70	-4
Camara de Industrias_1	3592.5	200	-5	220	-5
Camara de Industrias_2	3482.5	310	-5	330	-2
Cebollar_0	3592.5	30	0	30	0
Cebollar_1	3582.5	125	-5	125	-5
Cebollar_2	3482.5	280	-2	280	-2
Centro_0	3592.5	50	0	50	-5
Centro_1	3492.5	150	5	160	-5
Centro_2	3482.5	275	-5	240	-5
Ingenieros 1_0	3492.5	50	-5	50	-5
Ingenieros 1_1	3592.5	220	-5	220	-5
Ingenieros 1_2	3582.5	285	0	300	0
Ingenieros 2_0	3482.5	70	-3	30	2
Ingenieros 2_1	3492.5	195	-5	180	-5
Ingenieros 2_2	3582.5	305	-2	275	-2
Crea_0	3582.5	40	0	40	0
Crea_1	3592.5	140	-5	140	-5
Crea_2	3482.5	260	-1	260	-5
Cristo Rey_0	3582.5	0	-1	0	-5
Cristo Rey_1	3492.5	180	-5	160	-5
Cristo Rey_2	3482.5	260	-5	260	-5
Don Bosco_0	3592.5	30	-3	30	-3
Don Bosco_1	3492.5	170	-3	170	-3
Don Bosco_2	3482.5	300	-2	300	0
El Reloj_0	3492.5	30	-5	30	-5
El Reloj_1	3582.5	120	-5	120	-5
El Reloj_2	3482.5	270	-5	270	-5
El Tejar_0	3492.5	35	-2	35	-2

Continúa en la página siguiente.

Sector	Frecuencia	Azimut (°) Actual	Tilt (°) Actual	Azimut (°) Propuesto	Tilt (°) Propuesto
El Tejar_1	3582.5	170	-4	185	-4
El Tejar_2	3592.5	280	-3,5	280	-3
El Tiempo_0	3492.5	25	0	25	0
El Tiempo_1	3592.5	160	-5	160	0
El Tiempo_2	3582.5	260	0	260	0
El Volante_0	3492.5	40	-5	40	-5
El Volante_1	3482.5	145	-2	130	-2
El Volante_2	3592.5	260	-2	290	0
Empresa Electrica_0	3582.5	70	2	70	2
Empresa Electrica_1	3592.5	190	0	190	0
Empresa Electrica_2	3482.5	290	-3,5	310	0
Equindenca_0	3492.5	60	-5	60	-5
Equindenca_1	3482.5	241	0	241	0
Equindenca_2	3592.5	310	-4	310	-4
Escuela Allende_0	3492.5	75	-5	100	-5
Escuela Allende_1	3592.5	155	-4	180	-5
Escuela Allende_2	3482.5	350	-5	15	-5
Escuela Panama_0	3592.5	30	-5	30	-2
Escuela Panama_1	3492.5	100	-5	100	-5
Escuela Panama_2	3582.5	290	-5	290	-5
La Merced_0	3492.5	85	-3	85	-3
La Merced_1	3582.5	210	-4	210	-4
La Merced_2	3482.5	270	0	270	0
Mall del rio_0	3592.5	45	-4	45	-4
Mall del rio_1	3582.5	220	-2	220	-2
Mall del rio_2	3482.5	280	0	280	0
Mirador del Rio_0	3482.5	50	0	60	-10
Mirador del Rio_1	3592.5	160	-5	140	-5
Mirador del Rio_2	3582.5	250	-5	260	-5
Muebleria Vera_0	3592.5	10	-3	60	-5
Muebleria Vera_1	3492.5	92	-5	130	-2
Muebleria Vera_2	3582.5	240	-4	270	-5
Narancay_0	3482.5	20	-5	20	-5
Narancay_1	3582.5	110	-5	110	-5
Narancay_2	3492.5	210	0	210	0
Oftalmolaser_0	3592.5	355	-5	355	-5
Oftalmolaser_1	3482.5	85	-4	85	-4
Oftalmolaser_2	3492.5	240	-5	240	-5
Olimpo Mercurio_0	3592.5	40	-5	40	0
Olimpo Mercurio_1	3492.5	105	-6	140	-5
Olimpo Mercurio_2	3582.5	240	-5	230	-5
Parque Industrial_0	3592.5	330	0	330	0
Parque Industrial_1	3582.5	90	-5	90	-5
Parque Industrial_2	3492.5	230	-5	230	-5
Parque Victoria_0	3482.5	70	-10	60	-5
Parque Victoria_1	3592.5	150	-5	140	-5
Parque Victoria_2	3492.5	330	0	330	0
Patamarca_0	3492.5	350	-2	350	-2
Patamarca_1	3482.5	120	-6	130	-6
Patamarca_2	3582.5	245	-2	250	-2
Quifatex_0	3492.5	75	-5	90	0
Quifatex_1	3482.5	200	0	200	0
Quifatex_2	3592.5	290	-5	290	-5
Ricaurte_0	3592.5	0	-5	0	-5

Continúa en la página siguiente.

Sector	Frecuencia	Azimut (°) Actual	Tilt (°) Actual	Azimut (°) Propuesto	Tilt (°) Propuesto
Ricaurte_1	3492.5	150	-10	150	-10
Ricaurte_2	3482.5	240	-5	240	-5
Ricaurte Mercado_0	3482.5	115	0	115	0
Ricaurte Mercado_1	3582.5	240	0	240	0
Ricaurte Mercado_2	3492.5	335	0	335	0
Sayausi_0	3482.5	100	-4	100	-4
Sayausi_1	3582.5	220	-5	210	-5
Sayausi_2	3592.5	335	2	335	2
Talleres_0	3482.5	350	-2	350	-2
Talleres_1	3492.5	110	-2	110	-2
Talleres_2	3592.5	250	-5	250	-5
Terminal_0	3582.5	70	-1	85	-3
Terminal_1	3482.5	220	-5	220	0
Terminal_2	3492.5	0	0	0	-5
Totoracocha_0	3492.5	30	-2	55	-3
Totoracocha_1	3592.5	125	-2	140	-5
Totoracocha_2	3582.5	230	-5	270	-5
Curtiembre_0	3482.5	80	-2	70	0
Curtiembre_1	3492.5	250	-3	250	-2
Curtiembre_2	3592.5	0	-4	340	0
Ucubamba_0	3592.5	50	-3	50	0
Ucubamba_1	3482.5	220	-4	220	-4
Ucubamba_2	3492.5	290	0	290	-3
Universidad del Azuay_0	3492.5	80	0	50	0
Universidad del Azuay_1	3592.5	160	0	220	0
Universidad del Azuay_2	3582.5	260	0	320	-2
Yanuncay_0	3582.5	50	-5	15	-5
Yanuncay_1	3482.5	120	-5	100	-5
Yanuncay_2	3492.5	240	-5	240	-5

En la Figura 3.49, se presentan los resultados de cobertura en función del nivel de potencia recibida (RSSI), el rango de potencia está de -47dBm a -93dBm, comparando con la Figura 3.26, hay un incremento de cobertura en las BTSs Totoracocha, Curtiembre, El Volante, Mirador del Rio, Parque Victoria, Terminal, Escuela Panamá y Centro.

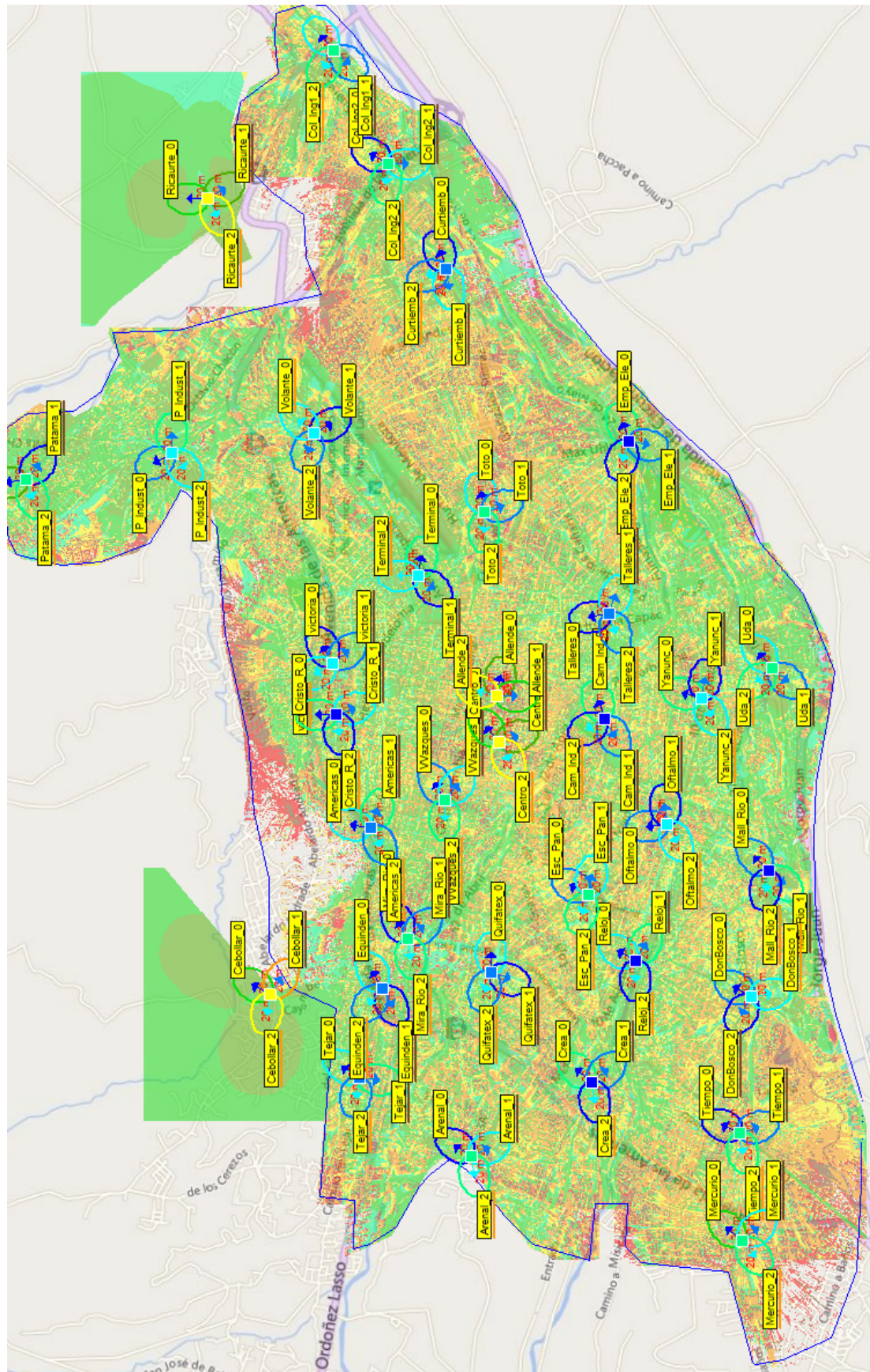


Figura 3.49: Cobertura propuesta de la red WiMAX

En la Figura 3.50 se presenta una comparación de simulaciones de RSSI entre la red medida y red propuesta, donde la red propuesta presenta mayores porcentajes de área cubierta. El área de cobertura analizada se presenta en la Figura 3.12. Se puede notar que en los valores desde -81 a -61 dBm la cobertura en la red medida presenta 35.9 % del área cubierta, mientras que la red propuesta presenta el 37,2 % del área cubierta. En los rangos de potencia desde -52dBm a -42dBm el area cubierta por la red medida es del 32.4 %, mientras que de la red propuesta es 34.4 % de área cubierta.

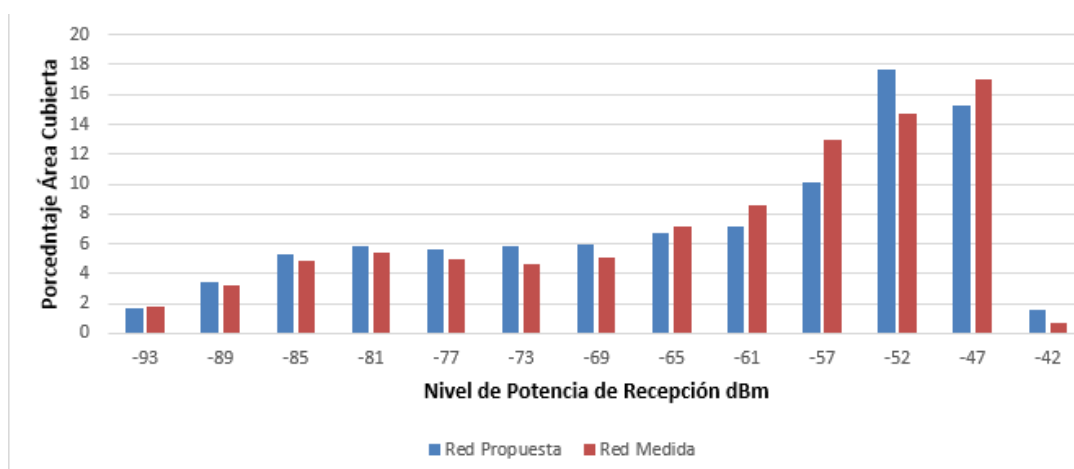


Figura 3.50: Comparación cobertura RSSI entre la red WiMAX medida y propuesta

En la Figura 3.51 se presenta los resultados de la simulación de interferencia entre portadoras mas ruido (CINR) de la red WiMAX propuesta, comparando con los resultados de cobertura de la Figura 3.29 donde habían BTSs con valores de CINR menores a 10 como Olimpo Mercurio, Yanuncay, Escuela Panamá, Centro, Mueblería Vera Vázquez, Escuela Allende y Crea. En la red propuesta se presenta mejoras en las BTS Escuela Allende, Centro, Curtiembre, Totoracocha y Escuela Panamá.

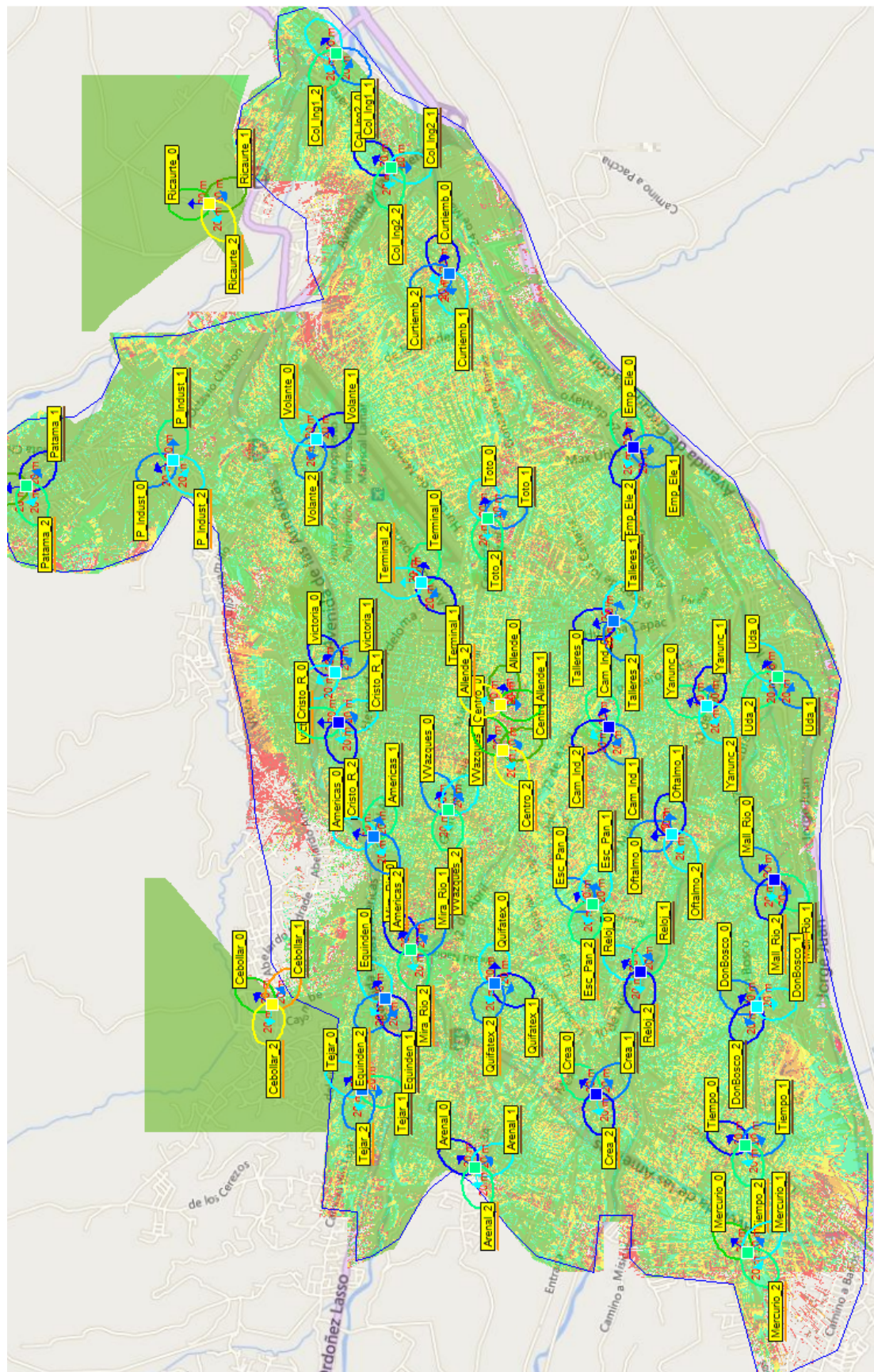


Figura 3.51: CINR propuesto de la red WiMAX

En la Figura 3.52 presenta una comparación de simulaciones de CINR entre la red medida y la red propuesta, se puede notar que la red propuesta posee mayor área cubierta en los valores desde 10dB a 20 dB si se compara estos valores con las pruebas realizadas del apartado 3.6 donde se concluyó que para valores de CINR mayores o iguales a 12 la calidad de servicio para la estación móvil es alta debido a que los valores de interferencia son bajos. La cobertura de la red medida presenta un 35.3 % de área cubierta para los valores de CINR de 10dB a 20dB, mientras que la red propuesta presenta un 35.7 %. Para los valores de CINR de 1dB a 9dB la red medida presenta valores de área cubierta 5.4 %, mientras que la red propuesta presenta 4.5 %, esto significa que la red propuesta presenta menor interferencia que la red medida.

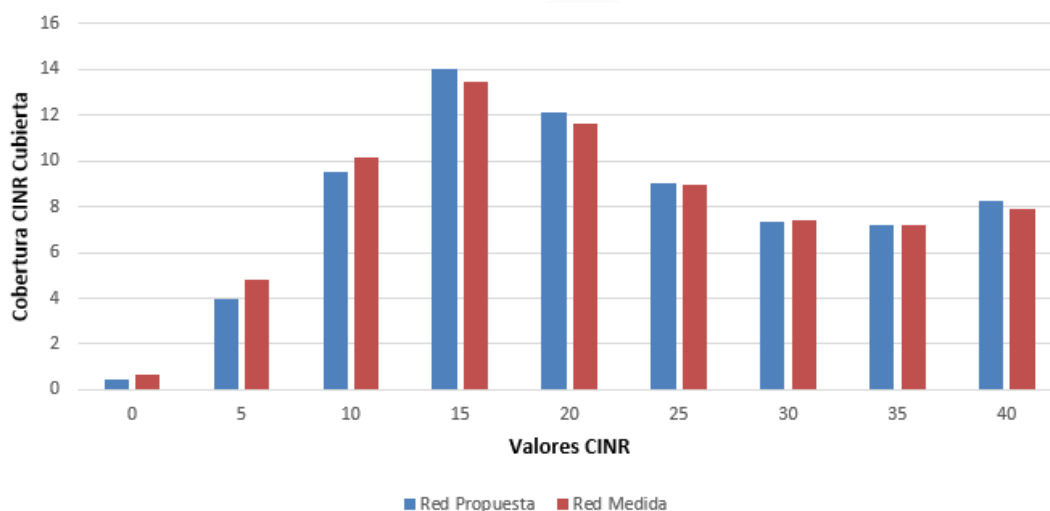


Figura 3.52: Comparación cobertura CINR entre las redes WiMAX medida y propuesta

3.8 Implementación y evaluación de la red propuesta en las BTSs Centro Escuela Allende y Mueblería Vera Vasquez .

En la sección 3.6 se habló a cerca de las simulaciones de la red con los datos medidos y se analizaron las pruebas realizadas en algunos sectores de la ciudad con prioridad en el centro, además se analizaron los usuarios fijos que se verían afectados por los cambios que se realizarían en la red para el centro de la ciudad. En la sección 3.7 se especificaron los cambios de azimuth y tilt que se proponen para la red y se presentaron las simulaciones realizadas con estos nuevos valores. En esta sección final del capítulo se analizarán los cambios realizados en las tres BTSs ubicadas en el centro de la ciudad, y como se comporta la red en este

sector luego de las modificaciones por medio de las pruebas realizadas. También se analizará como se han visto afectados los usuarios con equipos fijos mediante de la extracción y filtros de datos desde el gestor de WiMAX.

Previo a las modificaciones se presentaron los cambios que se proponen para la nueva red a los ingenieros encargados del departamento de comunicaciones inalámbricas de ETAPA, quienes revisaron y autorizaron las modificaciones en las tres BTSs establecidas desde el inicio (Centro, Escuela Allende y Mueblería Vera Vasquez). Los resultados de la simulación de la red propuesta se presentaron en la sección anterior de manera global tanto para la cobertura como para la interferencia. En esta sección se realizará un acercamiento de las simulaciones de la red propuesta específicamente en el centro histórico, para observar de mejor manera como ha mejorado la red. En la figura 3.53 se puede observar un recorte de la simulación de cobertura, si se la compara con la figura 3.35, se puede notar claramente las mejoras que ha tenido la red al desaparecer algunos sectores críticos marcados por la simulación de color rojo y otros sectores que ni siquiera están marcados donde se estima que la señal se pierde y además esto se pudo comprobar con las pruebas de campo realizadas como se explicó en la sección 3.6.

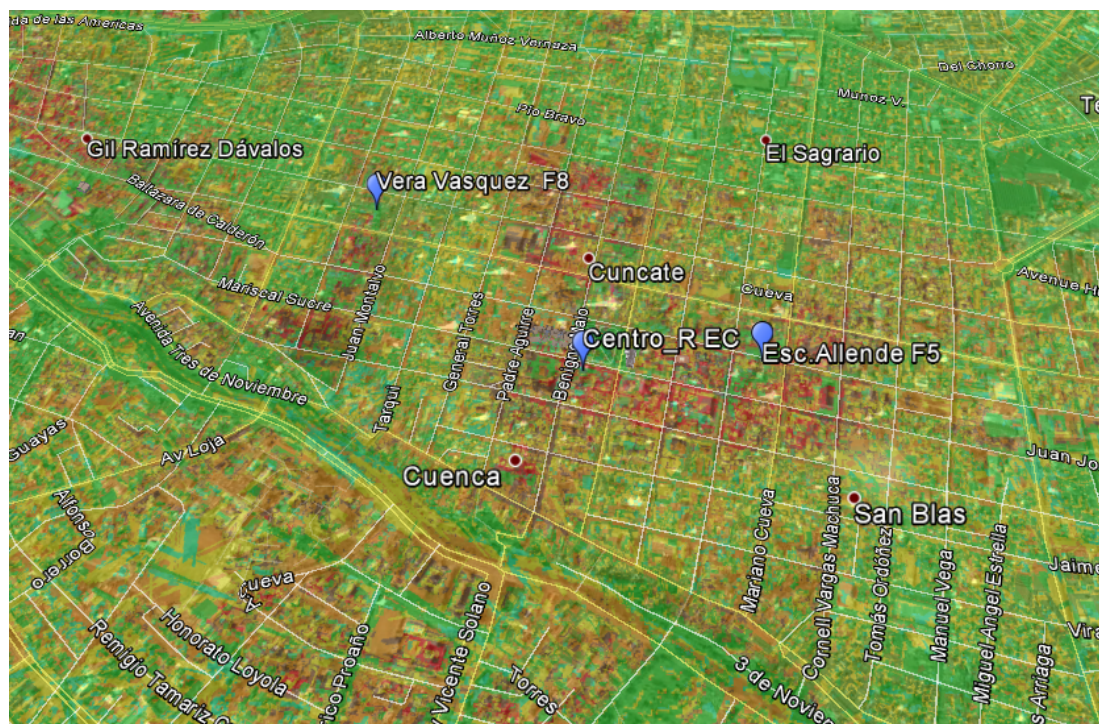


Figura 3.53: Simulación de cobertura RSSI de la red propuesta en el Centro

De la misma manera se realizará un recorte de la simulación de interferencia y se notará las mejoras en la red si se compara la figura 3.54 con la figura 3.36. Se puede notar como la interferencia disminuye en la red propuesta al tener menos áreas de color rojo y mayores espacios de color verde.

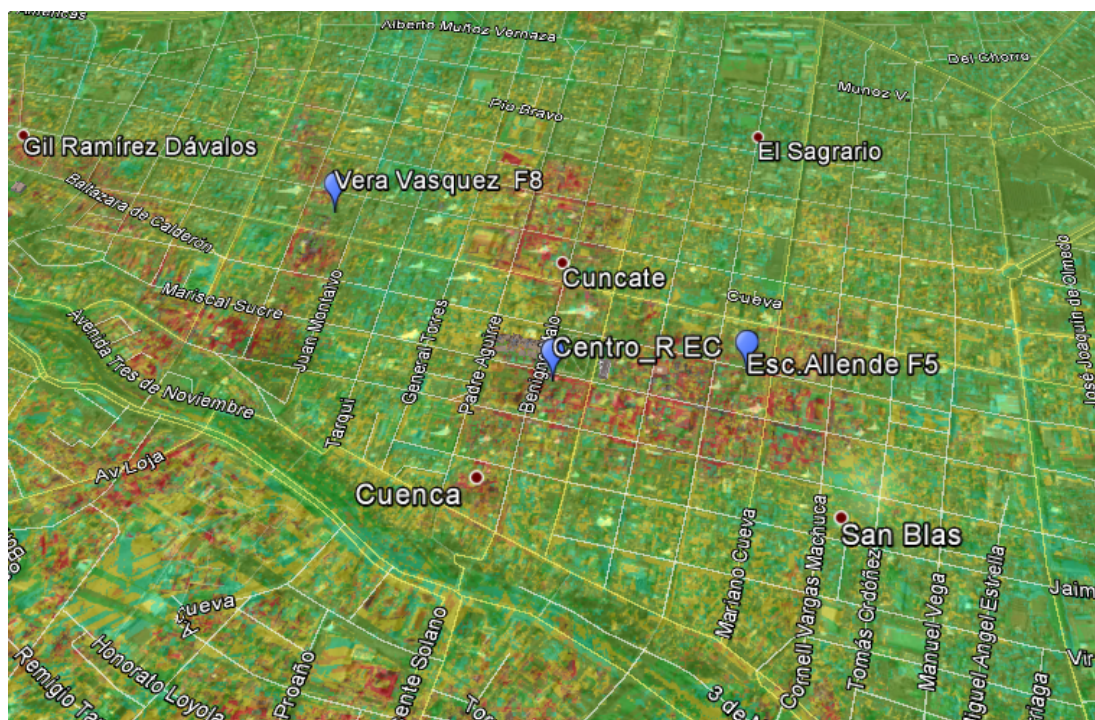


Figura 3.54: Simulación de interferencia CINR de la red propuesta en el Centro

Luego de realizar las modificaciones en las tres BTS indicadas, se procedió con las pruebas de campo con el mismo recorrido que se realizó para tomar los datos de la red antes de las modificaciones, de la misma manera como se describió en la sección 3.6. Se debe tomar en cuenta que no se realizaron todas las modificaciones de la red propuesta, por lo tanto se realizó una simulación de como está la red actualmente luego de las tres modificaciones en las BTS indicadas. En la figura 3.55 se ha realizado un cotejo entre los resultados de las pruebas de campo realizadas luego de las modificaciones y la simulación de la red actual. Se notará que las pérdidas son menores comparadas con las que se tenían antes de las modificaciones que se presentaron de igual manera en la figura 3.35.

En los resultados de las pruebas realizadas se debe mencionar que se han solucionado todos los errores de handoff que se tenían por las vecindades no declaradas entre algunas BTS como se explicó en la sección 3.7.2. Se siguen teniendo pérdidas de cobertura pero estas se deben a varios factores como: la ubicación de las BTS,



Figura 3.55: Simulación de cobertura RSSI y resultados de las pruebas de campo luego de las modificaciones

debido que la red WiMAX original no fue planificada inicialmente, y con la infraestructura actual no es posible realizar cambios de ubicación; otro factor importante en las pérdidas de las señales son las construcciones patrimoniales que en su mayoría están hechas de adobe y piedra lo que produce una alta atenuación de la señal; algunas BTSs están muy cerca entre sí, lo que produce interferencia entre las frecuencias de sus diferentes sectores.

En la tabla 3.28 se detallan todas las pérdidas que se encontraron en las calles principales y secundarias luego de las modificaciones en el centro de la ciudad.

3.8.1 Análisis de la simulación para las BTSs modificadas en el centro histórico

De la misma manera que se realizó en la sección 3.6.3 se ha realizado la simulación de cobertura para cada sector de las BTSs Centro, Mueblería Vera y Escuela Allende que fueron modificadas. Junto con las simulaciones se presentarán las pérdidas encontradas mediante pruebas de campo luego de las modificaciones con lo cual se podrá determinar la eficiencia de las modificaciones.

Cuadro 3.28: Detalle de pérdidas por desconexión luego de las modificaciones

Dirección	BTS (sector)	CINR (dBm)	RSSI (dBm)	Dirección IP
Padre Aguirre entre Bolivar y Gran Colombia	Vera Vázquez (1)	6	-60	201.238.182.177
Padre Aguirre entre Lamar y Sangurima	0	0	0	0
Padre Aguirre entre Sangurima y Vega Muñoz	0	0	0	0
Estevez de Toral y Bolivar	0	0	0	0
Estevez de Toral entre Bolivar y Gran Colombia	0	0	0	0
Estevez de Toral entre Sangurima y Antonio Vega	0	0	0	0
Antonio Vega entre Estevez de Toral y Coronel Talbot	0	0	0	0
Coronel Talbot y Lamar (Mercado 3 de Nov)	0	0	0	0
Coronel Talbot y Gran Colombia	0	0	0	0
Bolivar y Miguel Velez	0	0	0	0
Miguel Velez y Gran Colombia	0	0	0	0
Octavio Cordero entre Lamar y Gran Colombia	0	0	0	0
FINAL: Bolivar y Av 3 de Nov (Sagrados Corazones)	0	0	0	0
Benigno Malo y Antonio Vega	0	0	0	0
Padre Aguirre entre Sangurima y Antonio Vega	0	0	0	0
Gral. Torres y Carlos Crespi	0	0	0	0
Gral. Torres y Sangurima	0	0	0	0
Tarqui y Bolivar	0	0	0	0
Tarqui y Gran Colombia	0	0	0	0
Antonio Vega entre Tarqui y Juan Montalvo (1/2)	0	0	0	0
Juan Montalvo y Sangurima	0	0	0	0
Esteves de Toral entre Presidente Córdova y Sucre	0	0	0	0
Esteves de Toral y Bolivar	0	0	0	0
Esteves de Toral entre Sangurima y Antonio Vega	0	0	0	0
Esteves de toral y Antonio Vega	0	0	0	0
Coronel Talbot y Antonio vega	0	0	0	0
Coronel Talbot y Lamar	0	0	0	0
Miguel Velez y Bolivar	0	0	0	0
Miguel Velez y Gran Colombia	0	0	0	0
Miguel Heredia Y Lamar	0	0	0	0

Se empezará con la BTS Centro cuya cobertura se presenta en la figura 3.56. En la figura se puede observar los cambios que se han realizado si se compara con la figura 3.40. El principal cambio se realizó en el sector 2 que apunta en dirección hacia el vado moviendo el azimut de tal forma que la señal evite la Catedral. Otro cambio importante se realizó en el sector 1 que apunta en dirección del parque Calderón donde se bajó el tilt de tal forma que la antena es más directiva y se eliminaron las pérdidas que se tenían en la calle Luis Cordero. El sector 1 se movió 10 grados en el azimut.

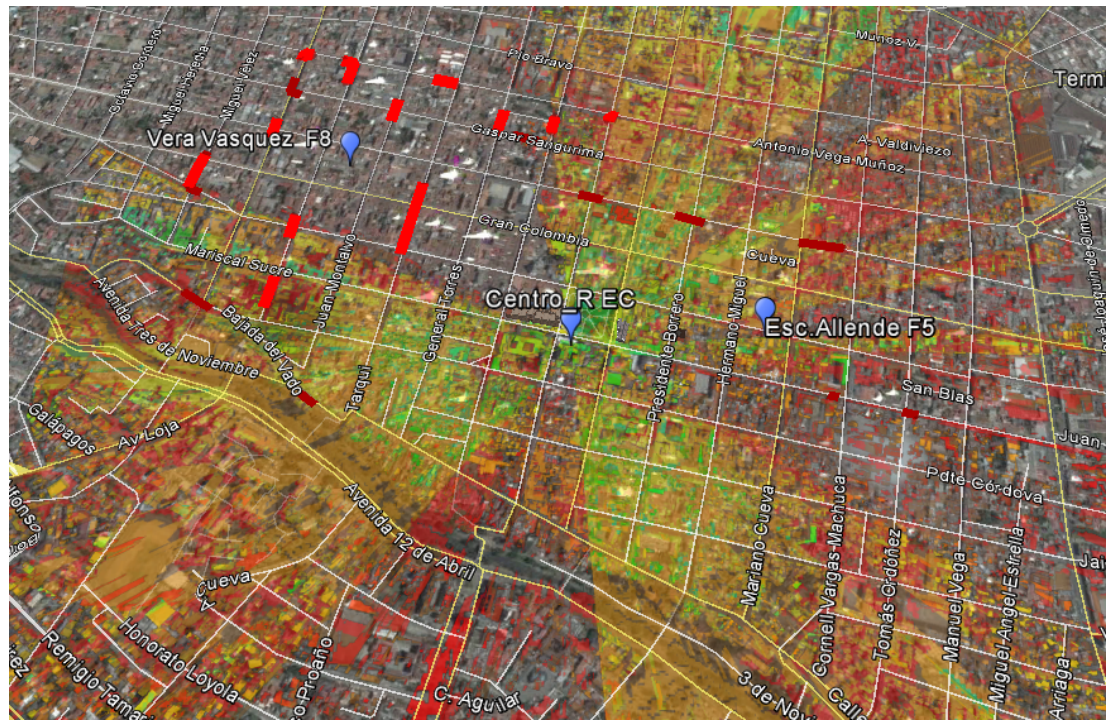


Figura 3.56: Simulación de Cobertura de la BTS Centro con los parámetros propuestos

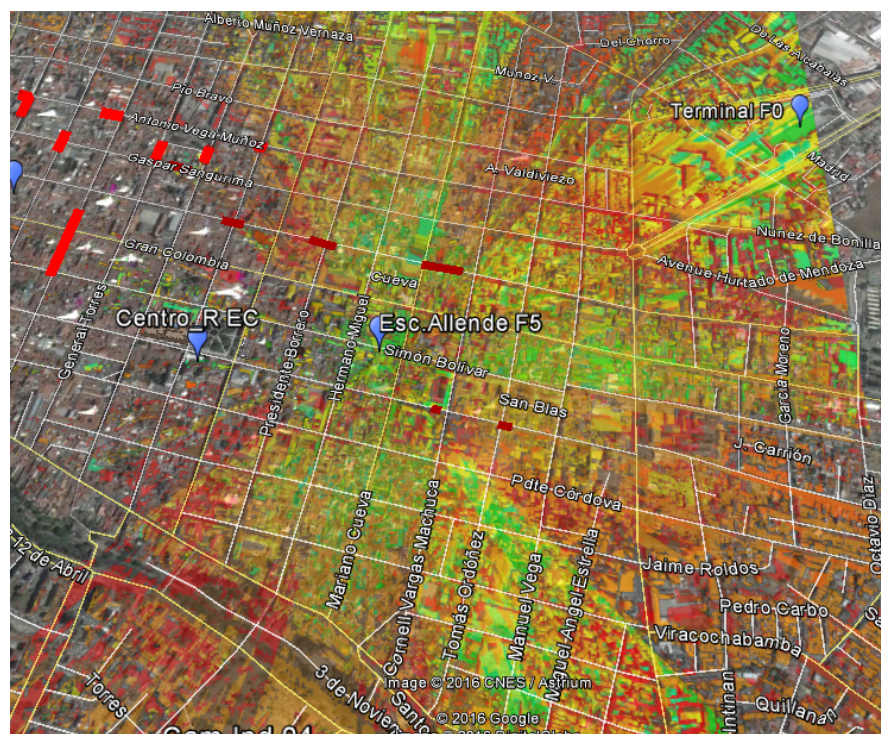


Figura 3.57: Simulación de Cobertura de la BTS Escuela Allende con los parámetros propuestos

La predicción de la cobertura en la BTS de Escuela Allende se puede observar en la figura 3.57 y se puede comparar con la figura 3.42 que representa la cobertura antes de las modificaciones. En esta ocasión se movieron 25 grados en todas las antenas y el ángulo de inclinación se estableció en -5 grados. Con las modificaciones se logró incrementar la señal en lugares como: Parque San Blas, Plaza Rotari y Mercado 9 de Octubre.

Para el caso de la BTS Mueblería Vera la predicción de cobertura se presenta en la figura 3.58 que se puede comparar con la figura 3.41. En este caso se realizaron modificaciones en todas las antenas tanto en azimuth como en tilt, como lo indica el cuadro 3.27. El Cambio más importante en esta BTS fue en los sectores 0 y 1 pero especialmente en el sector 1 donde el tilt se subió a -2 , permitiendo así que la señal llegue hasta detrás de la Catedral por la calle Padre Aguirre donde antes no llegaba ninguno de sus sectores y tampoco la BTS Centro por lo que se encontraron pérdidas que luego de las modificaciones fueron eliminadas como lo indica la figura 3.58.

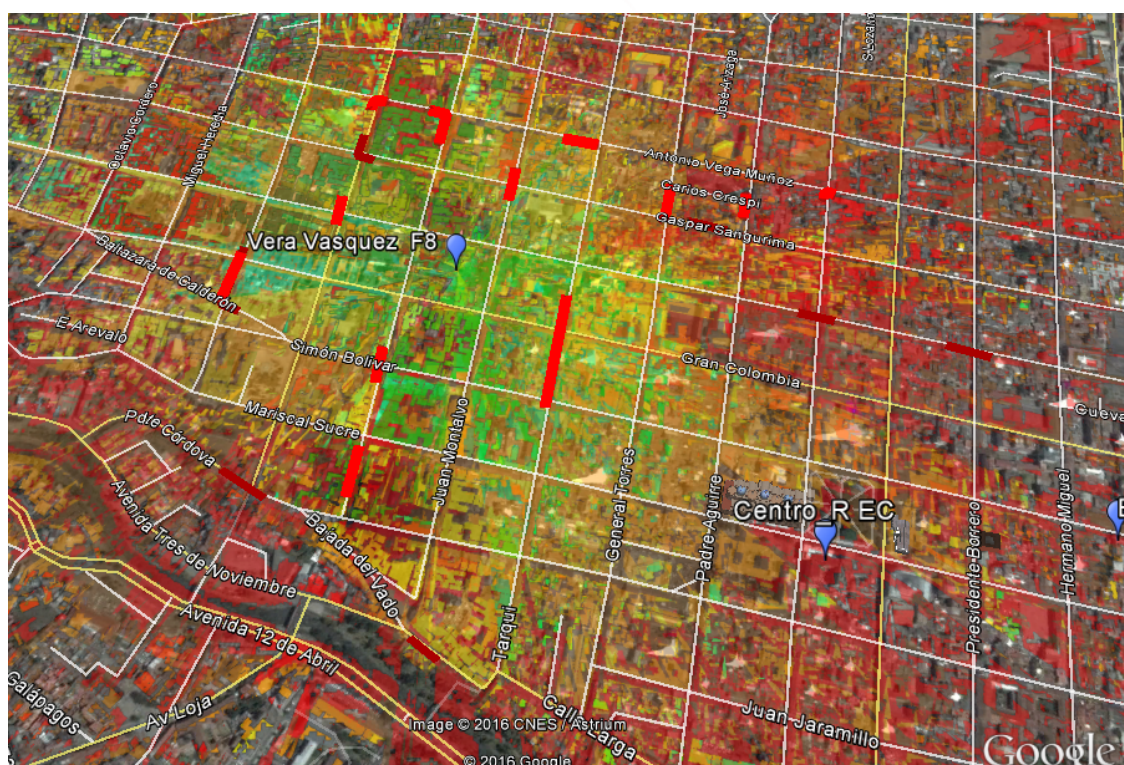


Figura 3.58: Simulación de Cobertura de la BTS Mueblería Vera con los parámetros propuestos

Finalmente, en la figura 3.59 se presenta la cobertura de las tres BTSs modificadas junto con las pérdidas encontradas en las pruebas de campo. Se puede observar que

hay menos áreas descubiertas y las antenas de cada BTS cubren de mejor manera sus respectivas áreas en el Centro de la ciudad. Quedan pendientes los cambios en las demás BTSs vecinas que serán realizados por el personal de ETAPA. Se espera que la red mejore mucho más como lo predice la simulación.

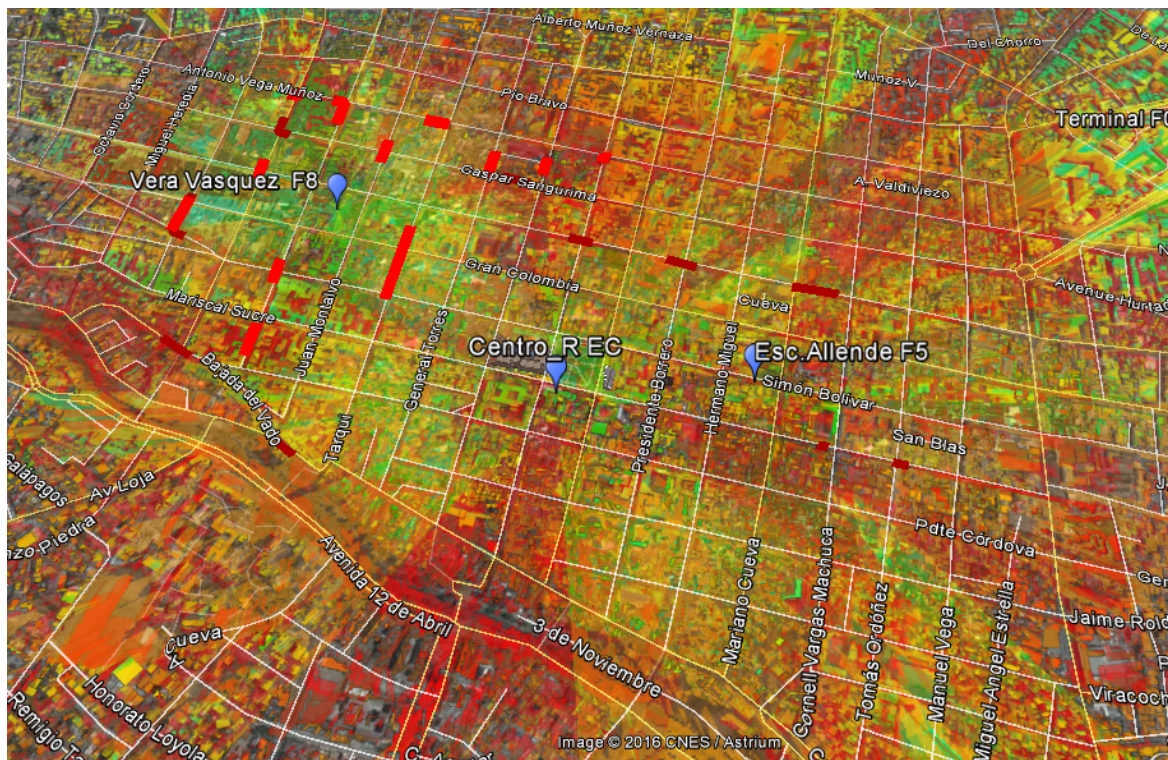


Figura 3.59: Simulación de Cobertura en las tres BTSs Centro, Escuela Allende y Mueblería Vera con los parámetros propuestos

3.8.2 Análisis de los cambios de cobertura producidos en la red y las pruebas realizadas

Continuando con el análisis y a petición de los Ingenieros de ETAPA se dividió el Centro en dos zonas para poder analizar de mejor manera los cambios y las mejoras en la red. En la figura 3.60 se puede observar la primera zona delimitada con color azul por las calles: Benigno Malo, calle Larga, Manuel Vega y Pío Bravo y que se denominará zona 1. Dentro de la zona 1 también se han pintado las pérdidas que se han encontrado. En esta zona se tienen 99 intersecciones registradas en las pruebas de las cuales se tenían 13 pérdidas antes de las modificaciones, mientras que luego de las modificaciones se tienen 6 pérdidas.



Figura 3.60: Delimitación de la primera zona de análisis (zona 1) y pérdidas encontradas dentro de esta zona

En porcentajes se tiene una mejora de un 53,84 % considerando todas las pérdidas en la zona 1. Las 13 pérdidas representan un 100 % antes de modificar, luego de modificar se tienen 6 pérdidas que representan el 46,15 %, mientras que las 7 pérdidas que desaparecieron representan el 53,84 % de mejora de la red.

Estos resultados para la zona 1 se podrán apreciar de mejor manera mediante el gráfico de la figura 3.61 que indica los porcentajes de pérdidas y mejoras en la red dentro de la zona 1, mientras que la figura y 3.62 muestra una comparación del número de pérdidas antes y después de las modificaciones en las calles principales y secundarias. En la zona 1 se tiene una notable mejora de la red al reducir el número de pérdidas con respecto a las que se tenían antes de realizar las modificaciones.

La zona 2 corresponde a la otra mitad y está delimitada por las calles Benigno Malo, Antonio Vega, Miguel Vélez, Córdova, bajada del Vado y calle Larga. En la figura 3.63 se observa la zona 2 delimitada de color azul y también se han pintado las pérdidas encontradas en esta zona luego de las modificaciones realizadas.

Dentro de la zona 2 no se han podido notar mejoras significativas, ya que la red se mantiene con el mismo número de pérdidas en las calles secundarias, mientras que se encontraron mejoras en las calles principales. En las calles principales se tiene una mejora de 33,33 %. En total en la zona 2 se tenían 18 pérdidas antes de las

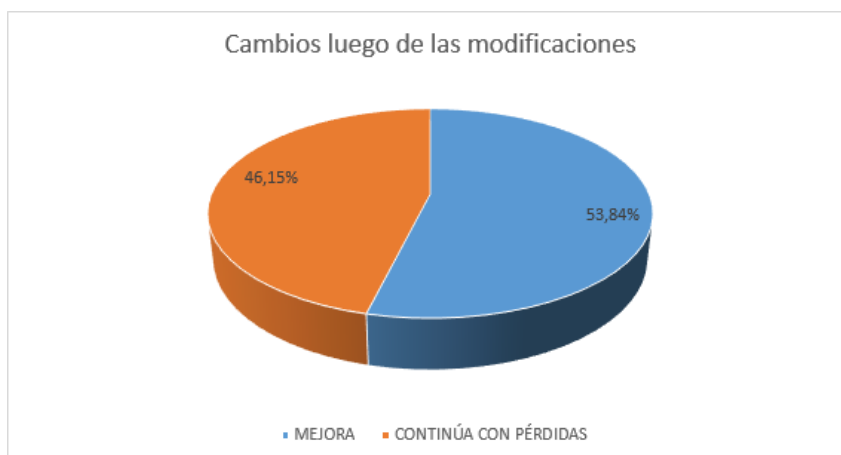


Figura 3.61: Porcentajes de pérdidas y mejoras de la red dentro de la zona 1

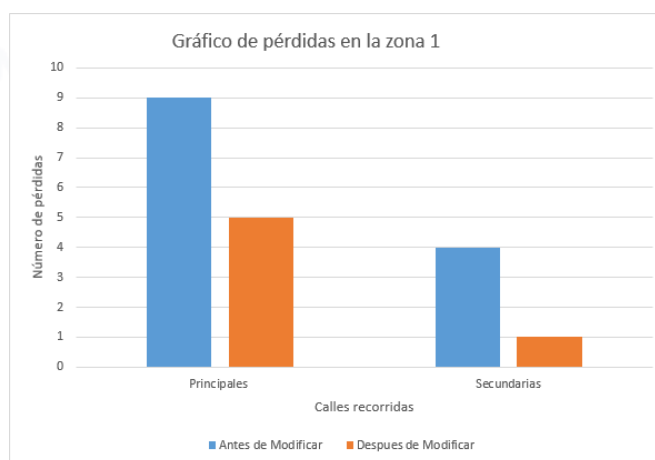


Figura 3.62: Comparación entre el número de pérdidas de la red en la zona 1 antes y después de las modificaciones.

modificaciones representando el 100 % de pérdidas. Luego de las modificaciones se tienen 15 pérdidas representando 83,33 % de las pérdidas que se mantienen, mientras que las 3 que desaparecen representan el 16,66 % de mejoras de la red en la zona 2.



Figura 3.63: Delimitación de la segunda zona de análisis (zona 2) y pérdidas encontradas dentro de esta zona

Lo que se ha explicado anteriormente se puede ver representado de mejor manera mediante gráficos. En la figura 3.64 se presenta el porcentaje de la red que mejora y el porcentaje que permanece igual. En la figura 3.65 se presenta el número de pérdidas antes y después de las modificaciones de la red en la zona 2.

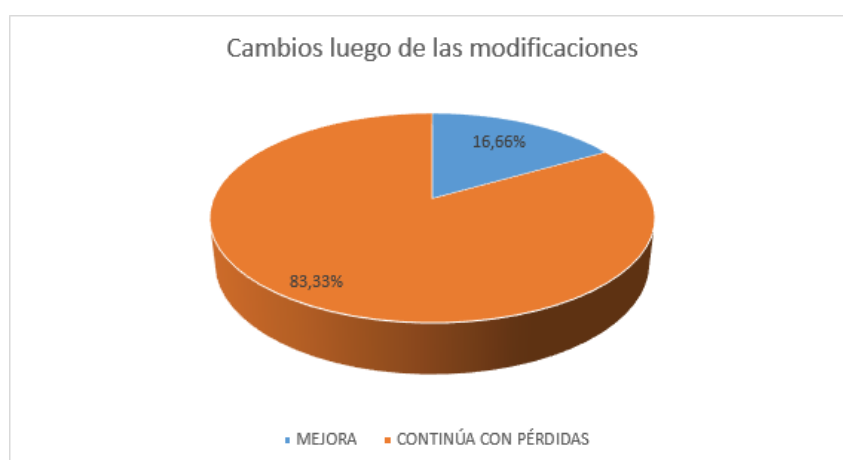


Figura 3.64: Porcentajes de pérdidas y mejoras de la red dentro de la zona 2

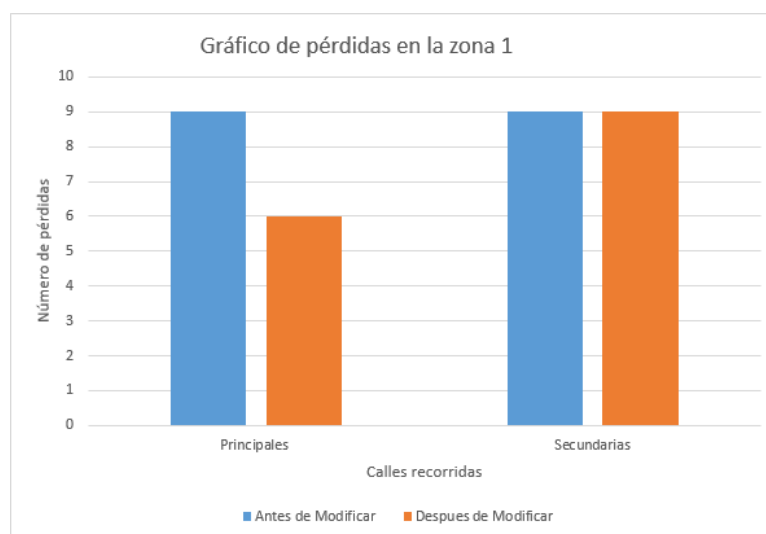


Figura 3.65: Comparación entre el número de pérdidas de la red en la zona 2 antes y después de las modificaciones.

En la zona 2 se debe considerar que se modificaron únicamente tres sectores de la BTS de Mueblería Vera, quedando pendiente las BTSs de Américas y Mirador del Río que intervienen de forma directa en la cobertura de la zona 2. Otro punto que se debe considerar es que en esta zona existen en su mayoría casas patrimoniales que como ya se mencionó anteriormente, ocasionan atenuación en la señal. También se debe considerar que la BTS de Mueblería Vera está sobre la construcción a la que debe su nombre cuya altura es baja (21m) considerando las construcciones cercanas, por estas razones la señal tiene dificultad para llegar hasta las calles ocasionando las pérdidas que se han presentado.

En la zona 1 intervienen directamente las BTSs de Centro y Escuela Allende que tienen alturas considerables (30m c/u) y habiendo sido modificadas simultáneamente brindan una mejor cobertura y menos interferencia como lo indican las simulaciones, obteniéndose los resultados expuestos que son bastante favorables para esta zona.

3.8.3 Análisis de los usuarios fijos en el centro después de las modificaciones

los usuarios que se analizarán en esta parte son los mismos que se presentaron en la figura 3.45 que se analizaron en la sección 3.6.4. Por medio del software RADIO MOBILE fue posible graficar la orientación de los sectores de las BTSs que se modificaron. De la misma manera que se presentaron los usuarios con las respectivas antenas a las que estaban conectados sus equipos fijos en la figura 3.47, también en esta sección se presentan los mismos usuarios, pero con las nuevas

En un principio se pensó que los usuarios identificados con los números 13, 16, 22 y 54 de la figura 3.66 serían los más afectados con el movimiento de las antenas, sin embargo no se afectó a ninguno. Algunos de los usuarios se conectaron a nuevos sectores de la misma BTS o a otras BTSs vecinas, incluso a algunos se les mejoró el servicio ya que los equipos reciben de mejor manera la señal, tal es el caso del usuario 22 al que se le visitó en su domicilio y se comprobó que la calidad de la señal había mejorado. A los demás usuarios se los buscó por medio del gestor de WiMAX y los resultados son los que se presentan a continuación.

160

Cuadro 3.29: Usuarios Fijos en la BTS Centro después de las Modificaciones

Cliente	MAC_Equipo	Sector Inicial	Nuevo Sector	RSSI DL	Nuevo RSSI DL	RSSI UL	Nuevo RSSI UL	CINR DL	Nuevo CINR DL	CINR UL	Nuevo CINR UL
1	00210705DB2A	centro-1	centro-2	-61	-49	-105	-106	11	26	22	22
5	002107237808	centro-0	allende-0	-72	-76	-105	-104	10	15	23	22
13	002107238194	centro-0	Cristo Rey-1	-69	-74	-105	-104	11	12	20	24
21	0021072384be	centro-1	centro-1	-61	-66	-103	-105	9	15	11	22
22	00210723818c	centro-2	centro-2	-67	-73	-107	-108	28	19	22	20
25	002107237baa	centro-2	Mirador-1	-44	-53	-105	-104	20	15	22	20
26	002107237f32	centro-1	allende-1	-67	-55	-103	-100	23	23	25	27
27	002107237f3c	centro-0	centro-0	-67	-69	-105	-105	17	11	23	23
40	002107237986	centro-2	centro-2	-69	No C.	-105	No C.	19	No C.	22	No C.
45	002107237c54	centro-2	centro-2	-83	-79	-114	-111	14	13	14	18
59	002107237cc2	centro-2	centro-1	-67	-71	-105	-104	23	16	23	23
61	002107237b2e	centro-2	centro-2	-56	-60	-108	-105	23	25	19	22

De la misma manera se presentan los nuevos resultados de los usuarios que disponen de equipo fijo para las BTSs de Escuela Allende y Mueblería Vera en los cuadros 3.30 y 3.31 respectivamente.

Cuadro 3.30: Usuarios Fijos en la BTS Escuela Allende después de las Modificaciones

Cliente	MAC_Equipo	Sector Inicial	Nuevo Sector	RSSI DL	Nuevo RSSI DL	RSSI UL	Nuevo RSSI UL	CINR DL	Nuevo CINR DL	CINR UL	Nuevo CINR UL
8	002107237aac	Allende-1	Talleres-0	-72	-77	-103	-106	13	11	23	22
17	002107237d02	Allende-1	Allende-1	-55	-54	-101	-104	26	25	24	22
42	002107237ee4	Allende-0	Allende-0	-77	-76	-107	-102	16	19	19	25

Cuadro 3.31: Usuarios Fijos en la BTS Mueblería Vera después de las Modificaciones

Cliente	MAC_Equipo	Sector Inicial	Nuevo Sector	RSSI DL	Nuevo RSSI DL	RSSI UL	Nuevo RSSI UL	CINR DL	Nuevo CINR DL	CINR UL	Nuevo CINR UL
15	002107237d06	Mueblería-0	Mueblería-0	-75	-73	-108	-105	23	22	17	21
16	002107237ce6	Mueblería-2	Mueblería-2	-60	-69	-101	-102	30	30	25	24
23	00210722944a	Mueblería-1	Mueblería-1	-58	-62	-103	-102	13	15	24	24
54	0021072293c2	Mueblería-0	Mueblería-0	-44	-55	-102	-104	28	19	24	24
57	00210722935a	Mueblería-1	Mueblería-1	-53	-49	-102	-102	25	29	26	25

En los cuadros de los usuarios presentados se puede notar claramente que no se ha dejado sin servicio a ningún usuario. la BTS Centro es la que ha tenido más cambios sin embargo por el nivel de potencia (RSSI) e interferencia (CINR) se puede asegurar que el usuario no tendrá problemas. Otro de los cambios se encontró en Escuela allende en la que el usuario 8 se conecta a Talleres-0 y es el único usuario que está en el límite de CINR aceptable, sin embargo hay que considerar que no se han modificado las BTSs vecinas las que podrían cubrir a otros usuarios y mejorar los niveles de RSSI y CINR. Todos los cambios pendientes los realizarán y los analizarán el personal de ETAPA de acuerdo a sus necesidades. Cabe mencionar que han pasado ya aproximadamente dos meses desde que se realizó la última modificación y no se han presentado problemas por parte de ningún usuario, lo que permite asumir que la red está respondiendo bien frente a los cambios realizados.

Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

Luego de cumplir los objetivos propuestos para este proyecto se pueden mencionar las siguientes conclusiones:

- La situación de la red WiMAX de ETAPA EP es que la red no tuvo una planificación adecuada y como consecuencia las BTSs se instalaron en diferentes lugares a conveniencia del personal encargado de la instalación de ETAPA EP y la compañía Huawei, por esta razón algunas de las BTSs están muy cercanas entre sí lo que provoca alta interferencia entre las frecuencias de sus sectores, tal es el caso de las BTSs de Mirador del Río y Equindeca que están a 420 metros de distancia, Centro y Escuela Allende a 369m de distancia, Cristo Rey y Parque Victoria a 400m.
- Las BTSs de Mueblería Vera y Américas están ubicadas sobre edificaciones de baja altura (21 y 15 metros respectivamente), por lo que existen limitaciones para realizar ajustes en el tilt de las antenas transmisoras. Además, por la baja altura de las BTSs mencionadas, las edificaciones cercanas de mayor altura obstaculizan el paso de la señal transmitida.
- Por otra parte, La BTS Américas se encuentra instalada sobre las paredes de una casa, como consecuencia el movimiento de azimuts es limitado.
- La presencia de casas patrimoniales del centro histórico que en su mayoría están construidas de adobe y piedra, lo que evita el paso de las señales que al ser de alta frecuencia se reflejan y difractan. Esto se ha comprobado con las pruebas de campo realizadas por las calles de la ciudad, en el anexo 7 se puede observar imágenes de las calles con las casas patrimoniales mencionadas.
- Se encontraron 5 pérdidas a causa de handoff especificadas en el cuadro 3.16, donde se detallan las BTSs que no tenían bien configuradas sus vecindades lo que ocasionaba desconexión de la red al momento de realizar hard handoff.
- Para la elección del software de simulación entre ICS TELECOM, ATOLL y RADIO MOBILE. Se concluye que RADIO MOBILE posee una cartografía libre de baja resolución por lo cual fue descartado. ICS TELECOM y ATOLL son capaces de simular la red WiMAX de ETAPA EP, sin embargo para

ATOLL no se dispone de cartografía de alta resolución para lograr una predicción aceptable por eso se eligió ICS TELECOM para el cual si se dispone de cartografía digital de alta resolución de la ciudad de Cuenca.

- Un punto importante en la realización de este proyecto fue el uso del programa de simulación ICS TELECOM que se comprobó mediante las pruebas de campo que es bastante exacto al momento de realizar las predicciones de cobertura, interferencia y rendimiento. Esto se pudo notar claramente al momento de realizar la predicción de rendimiento ya que son similares a los cálculos realizados de acuerdo a las diferentes modulaciones apartado 3.3. En cuanto a la cobertura también se comprobó la eficiencia del software ya que la mayoría de las pérdidas encontradas de la red coinciden con las predicciones de cobertura e interferencia.
- El diseño del patrón de radiación de las antenas transmisoras en el software Antios fue uno de los factores que aportó fuertemente para que las simulaciones de cobertura coincidieran con las pruebas de campo. Pues al cargar el patrón de radiación del documento de especificaciones técnicas de las antenas transmisoras se logró una simulación con datos reales.
- Se investigaron algunos modelos de propagación y se probaron en las simulaciones, pero resultaron ser muy optimistas en las predicciones por lo que fueron descartados y finalmente se eligió el modelo ITU-R P.525 /526 Deygout para las predicciones debido a su precisión en los cálculos de las pérdidas de propagación frente a otros modelos como se detalla en la sección 2.7.6, además se aprovechó la cartografía de alta resolución de la Ciudad de Cuenca.
- Un ventaja es que el mapa que contiene la capa de edificios permitió utilizar apropiadamente el modelo de propagación y obtener las predicciones que son bastante cercanas a la realidad. Sin embargo, un inconveniente es que el mapa está limitado únicamente a la zona urbana de la ciudad de Cuenca, esto fue un problema debido a que hay BTSs cuyas ubicaciones están fuera del mapa como Ricaurte, Ricaurte Mercado, Ucubamba, Sayausí, Narancay y Baños, por lo que no se pudo obtener una predicción realista de la cobertura en las zonas mencionadas.
- De acuerdo a la simulación de CINR se puede determinar que la red WiMAX medida presenta un 35.3 % de área cubierta para los valores de CINR de 10dB a 20dB, mientras que la red propuesta presenta un 35.7 %. Para los valores de CINR de 1dB a 9dB la red medida presenta valores de área

cubierta 5.4 %, mientras que la red propuesta presenta 4.5 %, esto significa que la red propuesta presenta menor interferencia que la red medida.

- De acuerdo a la simulación de cobertura de RSSI, la red medida presenta 35.9 % del área cubierta, mientras que la red propuesta presenta el 37,2 % del área cubierta. En los rangos de potencia desde -52dBm a -42dBm el área cubierta por la red medida es del 32.4 %, mientras que de la red propuesta es 34.4 % de área cubierta.

De las pruebas de campo se concluye lo siguiente:

- Uno de los factores a considerar en **WiMAX móvil** es la velocidad a la que viaja el móvil esto se ve afectado si hay tráfico vehicular. La velocidad en las avenidas principales de Cuenca es hasta 50Km/h y en el Centro Histórico es 30Km/h si no hay tráfico vehicular. Se realizaron pruebas en la red móvil sin la presencia de tráfico vehicular, determinando que cuando se desconecta el dispositivo móvil de una BTS tarda mas tiempo (aproximadamente 20 segundos) en volver a conectarse nuevamente a una BTS, mientras que con la presencia de tráfico (hora pico) y recorriendo a una velocidad de 10 a 15 Km/h aproximadamente, si el dispositivo móvil se desconecta tarda menos tiempo (aproximadamente 5 segundos) en reconectarse nuevamente.
- En las pruebas de campo realizadas se comprobó que un valor de CINR mayor igual a 12dB y un valor de RSSI mayor a -82dBm es aceptable para garantizar una excelente señal percibida por el usuario.
- En la zona del Centro Histórico al realizar las pruebas en la red **WiMAX móvil** se encontraron 30 pérdidas de señal en las direcciones descritas en el cuadro 3.17, debido a las configuraciones erróneas de vecindades entre BTSs, CINR alto o niveles de RSSI bajos.

En la implementación de la propuesta de mejoramiento de la red WiMAX se concluye lo siguiente:

- Al realizar las modificaciones en las BTSs mencionadas anteriormente. La BTS Centro es la que ha tenido más cambios, sin embargo por el nivel de potencia (RSSI) e interferencia (CINR) se puede asegurar que la calidad de servicio al usuario no se vió afectada.
- Otro de los cambios se encontró en la BTS Escuela Allende en la que el usuario 8 se conecta a Talleres-0 y es el único usuario que está en el límite de CINR aceptable, sin embargo hay que considerar que no se han modificado

las BTSs vecinas las que podrían cubrir a otros usuarios y mejorar los niveles de RSSI y CINR.

- Todos los cambios pendientes los realizará y los analizará el personal de ETAPA EP de acuerdo a sus necesidades. Cabe mencionar que han pasado ya aproximadamente tres meses desde que se realizó la última modificación y no se han presentado problemas por parte de ningún usuario, lo que permite asumir que la red está estable frente a los cambios realizados.
- Para **WiMAX móvil** hay un mejoramiento de 53,86 % de cobertura en la zona del centro de la ciudad mostrada en la Figura 3.60, ya que en esta zona presentaba 13 pérdidas que representan el 100 % de pérdidas, luego de modificar se tienen 6 pérdidas que representan el 46,15 % y desaparecieron 7 pérdidas que representan el mejoramiento indicado. En la otra zona analizada del centro (Figura 3.63) se tiene un porcentaje de mejoramiento de 16,66 %.
- Al realizar pruebas de campo en la red mejorada se siguen teniendo pérdidas de cobertura en menor número, pero éstas se deben a varios factores como: la ubicación de las BTSs, debido que que la red WiMAX original no fue planificada inicialmente, y con la infraestructura actual no es posible realizar cambios de ubicación; otro factor importante en las pérdidas de las señales son las construcciones patrimoniales que en su mayoría están hechas de adobe y piedra lo que produce una alta atenuación de la señal; algunas BTSs están muy cerca entre sí, lo que produce interferencia entre las frecuencias de sus diferentes sectores.

4.2 Recomendaciones

- Para **WiMAX fijo** si se usa el equipo interior HUAWEI BM635 WiMAX en las zonas con potencias menores a -82dBm cambiar al equipo HES-319M2W-ODU y el HES-319M2W-IDU el cual tiene una antena exterior con ganancia de 14dBi.
- Para **WiMAX móvil** si se usa el equipo móvil HUAWEI BM338 WiMAX USB se recomienda usar el kit de antena exterior HUAWEI W300 adicional con ganancia de 5dBi para tener mejor recepción de la señal en zonas menores a -82dBm.
- La capacidad máxima de una BTS WiMAX es 273 usuarios, por lo tanto cada sector soporta 91 usuarios, en el apartado 3.3 en el cuadro 3.10 muestra que las BTSs de la zona urbana de Cuenca contienen un número de usuarios inferior a la máxima capacidad. Incluso en muchos sectores solamente ocupan

el 10% de la capacidad de usuarios soportada, por lo tanto la red está sobredimensionada. Mientras que en las zonas suburbanas conformadas por las BTSs Baños, Narancay, La Merced, Ricaurte, Ricaurte Mercado, Ucubamba la cantidad de usuarios es mucho más elevada comparando con las BTSs de la zona urbana. Por eso se recomienda hacer publicidad para la comercialización WiMAX en la zona urbana de Cuenca ya que la red cuenta actualmente con 2500 usuarios y la capacidad de la red WiMAX en Cuenca es de 4000 usuarios navegando a una velocidad aproximada de 512Kbps si todos los usuarios estarían conectados simultáneamente.

- El sector 0 de la BTS Cámara de Industrias y el sector 2 de la BTS Totoracocha los lóbulos principales de las antenas transmisoras se ven de frente tienen la misma frecuencia (3582.5 MHz), se recomienda mover el azimut del sector 2 de la BTS Totoracocha de 230°N a 270°N.
- En el cuadro 3.27 se especifica las recomendaciones de cambios de azimuts y tilts para el mejoramiento de cobertura de la red WiMAX para incrementar la calidad de servicio a los usuarios de la red. Se recomienda al personal de ETAPA EP concluir con los cambios planteados en el cuadro mencionado en toda la red.
- Después de realizar los cambios en toda la red se recomienda realizar pruebas de campo para determinar el comportamiento de la red, como las detalladas en el cuadro 4.3.
- Antes de cualquier modificación se recomienda revisar la simulación de cada sector de las BTSs por separado que se entregó a ETAPA junto con las demás simulaciones, ya que esto permite determinar como está la cobertura de un sector en específico. En el Google Earth se puede visualizar cada sector que se necesite, esto facilita enormemente los análisis de la cobertura, además que permite planificar nuevos cambios dependiendo de las necesidades de la red.
- Se recomienda estudiar la posibilidad de usar pico celdas en las calles donde existe agujeros de cobertura debido a las construcciones patrimoniales del Centro Histórico de Cuenca, para brindar un servicio de movilidad al 100 por ciento.

Bibliografía

- [1] Jeffrey G Andrews, Arunabha Ghosh y Rias Muhamed. *Fundamentals of WiMAX: understanding broadband wireless networking*. Pearson Education, 2007 (vid. págs. 34, 45, 46, 48, 49, 52, 57, 58, 60, 62, 63).
- [2] ARCOTEL. „Resolución TEL-815-27- CONATEL-2010“. En: (2010) (vid. pág. 75).
- [3] ATDI. *ICS TELECOM*. url<http://www.atdi.com/ics-telecom/>. Captura 08-12-2015. 2015 (vid. págs. 98, 100).
- [4] ATDI. *Mobile WiMAX network design*. <http://goo.gl/ctda8y>. Captura 08-12-2015. 2009 (vid. págs. 100, 101).
- [5] O. Gonzáles R. Jiménez D. Moreno P. Elvis R. Barría K. Ferreira. „Comparación de los Modelos de Difracción y Propagación“ (vid. pág. 66).
- [6] citel. *Redes Inalámbricas de Banda Ancha*. <http://goo.gl/cC5RRn>. Captura 08-12-2015. 2015 (vid. pág. 46).
- [7] Zyxel Communications Corp. *MAX318M2W-ODU*. <ftp://ftp2.zyxel.com/>. Captura 17-02-2016. 2011 (vid. págs. 86-88).
- [8] Jacques Deygout. „Multiple knife-edge diffraction of microwaves“. En: *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on* 14.4 (1966), págs. 480-489 (vid. pág. 69).
- [9] Espina Marcano D Durán Ramírez H. *Cálculo de la capacidad de enlace de la capa física de WiMAX móvil IEEE 802.16e*. Captura 18-02-2016. 2006 (vid. págs. 89, 90).
- [10] Ordoñez Bravo Erika. „Diseño de una red inalambrica utilizando la tecnologia WiMAX para proveer el servicio de internet de banda ancha en la ciudad de manta“. En: (2011) (vid. pág. 33).
- [11] WiMAX Forum. „Input on working document towards preliminary draft new report ITU-R s. BWA-FSS“. En: (2009) (vid. pág. 71).

- [12] FOSK. *Atoll WiMAX features*. <https://goo.gl/WqViwn>. Captura 03-03-2016. 2011 (vid. págs. 100, 101).
- [13] FOSK. *atoll-WiMAX/BWA*. <http://www.forsk.com/atoll/wimaxbwa/>. Captura 08-12-2015. 2015 (vid. pág. 97).
- [14] Sánchez Héctor García. „Universidad Nacional Autónoma de México“. En: *Andragogía, su ubicación en la educación continua* (2001) (vid. págs. 47, 49-51).
- [15] Jordi Joan Gimenez Gandia, Narciso Cardona Marcet, David Gómez Barquero y Jaime López Sánchez. „Modelos de propagación radio para redes de TDT móvil en la banda UHF“. En: *Systems & Telematics (Sistemas y Telemática)* 9.18 (2011), págs. 9-27 (vid. págs. 68, 69).
- [16] Ferrús Ferré R Gonzalez García P. *Diseño de una herramienta de planificación de sistemas WiMAX*. Captura 20-02-2016. 2006 (vid. págs. 89, 90).
- [17] Christopher Haslett. *Essentials of radio wave propagation*. Cambridge University Press, 2008 (vid. pág. 67).
- [18] National Instruments. *Introduction to WiMAX Transmitter Measurements*. <http://www.ni.com/tutorial/8976/en/>. Captura 05-01-2016. 2015.
- [19] ITU. *Definiciones de términos relativos a QoS*. <https://goo.gl/n8NTGq>. Captura 18-03-2016. 2008 (vid. pág. 72).
- [20] huawei technologies co. ltd. „WiMAX Fundamental“. En: (2010), págs. 1-34 (vid. págs. 34, 38, 43, 52, 53).
- [21] Vázquez Rodas Andrés Marcelo. „Estudio de las presentaciones de la tecnología de red wimax mediante simulación“. En: (2010) (vid. págs. 46, 48).
- [22] Karen Fernanda Medina Velez e Ivonne Alexandra Revelo Arias. „Diseño y planificación de una red inalámbrica basada en los estándares IEEE 802.16 (WiMAX) y 802.11 (WIFI) para proveer de internet de banda ancha a poblaciones de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe“. En: (2006) (vid. págs. 36, 37).
- [23] Radio Mobile Online. *Radio Mobile*. <http://goo.gl/5wX1Cu>. Captura 02-01-2016. 2015 (vid. págs. 35, 42, 45, 59, 97, 100, 101).
- [24] UIT-R P526.11. *Propagación por Difracción*. Inf. téc. Unión Internacional de las Telecomunicaciones, 2012 (vid. pág. 67).

- [25] UIT-R P526.12. *Propagación por Difracción*. Inf. téc. Unión Internacional de las Telecomunicaciones, 2012 (vid. pág. 66).
- [26] Eric Phillip. „Adaptive Techniques for Multiuser OFDM“. En: (2001). Captura 08-11-2015.
- [27] Oscar David Quilumbango Huertas. *Material didáctico para el análisis y simulación del desempeño de la capa física de WiMAX/IEEE 802.16, usando la interfaz gráfica de Matlab (GUI)*. Inf. téc. QUITO/EPN/2011, 2011.
- [28] Cisco Systems. *Mejore el servicio con WiMAX*. <http://goo.gl/uXS788>. Captura 16-02-2016. 2015 (vid. pág. 55).
- [29] Jose Valderrama. „Información tecnologica“. En: 14 (2003), pág. 74 (vid. pág. 40).
- [30] Yan Zhang. *WiMAX network planning and optimization*. CRC Press, 2009 (vid. págs. 23, 33, 56, 64, 65, 69, 70).

Anexos

Anexo1: Vecindades de la BTS Mirador del Rio

Cuadro 4.1: Vecindades de la BTS Mirador del Rio

ID Sector	ID Sector	Nombre Sector	Nombre Sector Vecino
0000-0203-F900	0000-0203-E900	Mirador Rio_0	Americas_0
0000-0203-F910	0000-0203-E900	Mirador Rio_1	Americas_0
0000-0203-F920	0000-0203-E900	Mirador Rio_2	Americas_0
0000-0203-F900	0000-0203-E910	Mirador Rio_0	Americas_1
0000-0203-F910	0000-0203-E910	Mirador Rio_1	Americas_1
0000-0203-F920	0000-0203-E910	Mirador Rio_2	Americas_1
0000-0203-F900	0000-0203-E920	Mirador Rio_0	Americas_2
0000-0203-F910	0000-0203-E920	Mirador Rio_1	Americas_2
0000-0203-F920	0000-0203-E920	Mirador Rio_2	Americas_2
0000-0203-F900	0000-0203-EC00	Mirador Rio_0	Centro_0
0000-0203-F910	0000-0203-EC00	Mirador Rio_1	Centro_0
0000-0203-F920	0000-0203-EC00	Mirador Rio_2	Centro_0
0000-0203-F900	0000-0203-EC10	Mirador Rio_0	Centro_1
0000-0203-F910	0000-0203-EC10	Mirador Rio_1	Centro_1
0000-0203-F920	0000-0203-EC10	Mirador Rio_2	Centro_1
0000-0203-F900	0000-0203-EC20	Mirador Rio_0	Centro_2
0000-0203-F910	0000-0203-EC20	Mirador Rio_1	Centro_2
0000-0203-F920	0000-0203-EC20	Mirador Rio_2	Centro_2
0000-0203-F900	0000-0203-F720	Mirador Rio_0	Cristo Rey_2
0000-0203-F910	0000-0203-F720	Mirador Rio_1	Cristo Rey_2
0000-0203-F910	0000-0204-0100	Mirador Rio_1	El Reloj_0
0000-0203-F920	0000-0204-0800	Mirador Rio_2	Tejar_0
0000-0203-F920	0000-0204-0810	Mirador Rio_2	Tejar_1
0000-0203-F920	0000-0204-1100	Mirador Rio_2	Equindenca_0
0000-0203-F920	0000-0204-1110	Mirador Rio_2	Equindenca_1
0000-0203-F900	0000-0204-1100	Mirador Rio_0	Equindenca_0
0000-0203-F910	0000-0204-1100	Mirador Rio_1	Equindenca_0
0000-0203-F900	0000-0204-1110	Mirador Rio_0	Equindenca_1
0000-0203-F910	0000-0204-1110	Mirador Rio_1	Equindenca_1
0000-0203-F900	0000-0204-1120	Mirador Rio_0	Equindenca_2
0000-0203-F910	0000-0204-1120	Mirador Rio_1	Equindenca_2
0000-0203-F920	0000-0204-1120	Mirador Rio_2	Equindenca_2
0000-0203-F910	0000-0204-0600	Mirador Rio_1	Esc Panama_0
0000-0203-F910	0000-0204-0620	Mirador Rio_1	Esc Panama_2
0000-0203-F920	0000-0204-0620	Mirador Rio_2	Esc Panama_2
0000-0203-F900	0000-0203-F800	Mirador Rio_0	Mueblería Vera_0
0000-0203-F900	0000-0203-F820	Mirador Rio_0	Mueblería Vera_2
0000-0203-F910	0000-0203-F820	Mirador Rio_1	Mueblería Vera_2
0000-0203-F900	0000-0203-F810	Mirador Rio_0	Mueblería Vera_1
0000-0203-F910	0000-0204-0500	Mirador Rio_1	Quifatex_0
0000-0203-F920	0000-0204-0520	Mirador Rio_2	Quifatex_2
0000-0203-F900	0000-0203-F910	Mirador Rio_0	Mirador Rio_1
0000-0203-F900	0000-0203-F920	Mirador Rio_0	Mirador Rio_2
0000-0203-F910	0000-0203-F900	Mirador Rio_1	Mirador Rio_0
0000-0203-F910	0000-0203-F920	Mirador Rio_1	Mirador Rio_2
0000-0203-F920	0000-0203-F900	Mirador Rio_2	Mirador Rio_0
0000-0203-F920	0000-0203-F910	Mirador Rio_2	Mirador Rio_1
0000-0203-F900	0000-0203-F310	Mirador Rio_0	Cebollar_1
0000-0203-F920	0000-0203-EA00	Mirador Rio_2	Arenal_0

Anexo 2: Especificaciones de la antena sectorial SL12436A



定向板型天线 Directional Panel Antenna

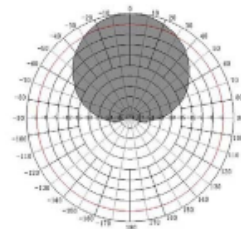
SL12436A

Code Name: 12633AS2-

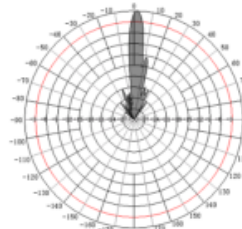
Approved: 2010-08-09

说明书 SPECIFICATION

Item Name	Specification	
Frequency Range (MHz)	3300~3500	3500~3800
VSWR	≤1.5	
Isolation Between Ports (dB)	≥30	
Input Impedance(Ω)	50	
Polarization	±45°	
Gain(±0.5dBi)	4×17.6	4×17.7
Horizontal Beamwidth(±5°)	60	60
Vertical Beamwidth (±0.5°)	6.8	6.4
Electrical Downtilt(°)	2	
Front to Back Ratio(dB)	≥30±2	
Cross Polarization Ratio(dB)	18	
Upper Sidelobe Suppression(dB)	≥18	
Max power(W)	150	
Connector Type	N-Female×4	
Lightning Protection	DC ground	
Other Parameter		
Dimnsion (mm)	850×290×102	
Weight(kg)	5.1	
Rated Wind Velocity(km/h)	200	
Radome material	Fiberglass	
Diameter of installation pole(mm)	φ50~φ80	
Working Temperature(°C)	-40~+65	



Horizontal Pattern



Vertical Pattern

广东盛路通信科技股份有限公司 Guangdong Shenglu Telecommunication Tech. Co., Ltd.
地址：广东省佛山市三水区西南工业园进业2路4号
Address: No.4 Jinye 2nd Road, Xinan Industrial Park, Sanshui, Foshan, Guangdong, China
Tel: 86-757-87719589 Fax: 86-757-87744997 E-mail: sales@shenglu.com http://www.shenglu.com
执行标准 Standard: YD/T 1059

Figura 4.1: Datos técnicos de la antena sectorial de la red WiMAX

Anexo 3: Vecindades configuradas de las BTSs Centro, Escuela Allende, y Mueblería Vera Vázquez.

Cuadro 4.2: Vecindades configuradas de las BTSs modificadas de la red WiMAX de ETAPA EP

ID Sector	ID Sector Vecino	Nombre Sector	Nombre Sector Vecino
0000-0203-EC00	0000-0203-F010	Centro_0	Terminal_1
0000-0203-EC00	0000-0203-EF00	Centro_0	Talleres_0
0000-0203-EC00	0000-0203-EC10	Centro_0	Centro_1
0000-0203-EC00	0000-0203-EC20	Centro_0	Centro_2
0000-0203-EC10	0000-0203-EF00	Centro_1	Talleres_0
0000-0203-EC10	0000-0203-EF20	Centro_1	Talleres_2
0000-0203-EC10	0000-0203-EC00	Centro_1	Centro_0
0000-0203-EC10	0000-0203-EC20	Centro_1	Centro_2
0000-0203-EC20	0000-0203-EC00	Centro_2	Centro_0
0000-0203-EC20	0000-0203-EC10	Centro_2	Centro_1
0000-0203-EC20	0000-0203-ED00	Centro_2	Crea_0
0000-0203-EC00	0000-0203-E910	Centro_0	Americas_1
0000-0203-EC10	0000-0203-E910	Centro_1	Americas_1
0000-0203-EC20	0000-0203-E910	Centro_2	Americas_1
0000-0203-EC20	0000-0203-E920	Centro_2	Americas_2
0000-0203-EC10	0000-0203-EE00	Centro_1	Oftalmolaser_0
0000-0203-EC20	0000-0203-EE00	Centro_2	Oftalmolaser_0
0000-0203-EC10	0000-0203-EE10	Centro_1	Oftalmolaser_1
0000-0203-EC20	0000-0204-0600	Centro_2	Esc Panama_0
0000-0203-EC10	0000-0204-0600	Centro_1	Esc Panama_0
0000-0203-EC00	0000-0204-0600	Centro_0	Esc Panama_0
0000-0203-EC20	0000-0204-0610	Centro_2	Esc Panama_1
0000-0203-EC10	0000-0204-0610	Centro_1	Esc Panama_1
0000-0203-EC20	0000-0204-0620	Centro_2	Esc Panama_2
0000-0203-EC00	0000-0203-F510	Centro_0	Escuela Allende_1
0000-0203-EC10	0000-0203-F510	Centro_1	Escuela Allende_1
0000-0203-EC00	0000-0203-F520	Centro_0	Escuela Allende_2
0000-0203-EC10	0000-0203-F520	Centro_1	Escuela Allende_2
0000-0203-EC20	0000-0203-F800	Centro_2	Mueblería Vera_0
0000-0203-EC20	0000-0203-F810	Centro_2	Mueblería Vera_1
0000-0203-EC00	0000-0203-F810	Centro_0	Mueblería Vera_1
0000-0203-EC20	0000-0203-F820	Centro_2	Mueblería Vera_2
0000-0203-EC10	0000-0204-0400	Centro_1	Camara de Ind_0
0000-0203-EC10	0000-0204-0410	Centro_1	Camara de Ind_1
0000-0203-EC10	0000-0204-0420	Centro_1	Camara de Ind_2
0000-0203-EC20	0000-0204-0420	Centro_2	Camara de Ind_2
0000-0203-EC00	0000-0204-0420	Centro_0	Camara de Ind_2
0000-0203-EC10	0000-0204-0700	Centro_1	Yanuncay_0
0000-0203-EC10	0000-0204-0720	Centro_1	Yanuncay_2
0000-0203-EC00	0000-0203-F710	Centro_0	Cristo Rey_1
0000-0203-EC10	0000-0203-F400	Centro_1	UDA_0
0000-0203-EC10	0000-0203-F410	Centro_1	UDA_1
0000-0203-EC10	0000-0203-F420	Centro_1	UDA_2
0000-0203-EC20	0000-0204-0B00	Centro_2	Parque Industrial_0
0000-0203-EC20	0000-0204-0B10	Centro_2	Parque Industrial_1
0000-0203-EC20	0000-0204-0B20	Centro_2	Parque Industrial_2
0000-0203-EC00	0000-0203-F700	Centro_0	Cristo Rey_0
0000-0203-EC00	0000-0203-F720	Centro_0	Cristo Rey_2

Continúa en la página siguiente.

ID Sector	ID Sector Vecino	Nombre Sector	Nombre Sector Vecino
0000-0203-EC10	0000-0203-F700	Centro_1	Cristo Rey_0
0000-0203-EC10	0000-0203-F710	Centro_1	Cristo Rey_1
0000-0203-EC10	0000-0203-F720	Centro_1	Cristo Rey_2
0000-0203-EC20	0000-0203-F700	Centro_2	Cristo Rey_0
0000-0203-EC20	0000-0203-F710	Centro_2	Cristo Rey_1
0000-0203-EC20	0000-0203-F720	Centro_2	Cristo Rey_2
0000-0203-EC00	0000-0203-F600	Centro_0	Parque Victoria_0
0000-0203-EC00	0000-0203-F610	Centro_0	Parque Victoria_1
0000-0203-EC00	0000-0203-F620	Centro_0	Parque Victoria_2
0000-0203-EC20	0000-0203-F610	Centro_2	Parque Victoria_1
0000-0203-EC20	0000-0203-F620	Centro_2	Parque Victoria_2
0000-0203-EC00	0000-0203-F900	Centro_0	Mirador Rio_0
0000-0203-EC00	0000-0203-F910	Centro_0	Mirador Rio_1
0000-0203-EC00	0000-0203-F920	Centro_0	Mirador Rio_2
0000-0203-EC10	0000-0203-F900	Centro_1	Mirador Rio_0
0000-0203-EC10	0000-0203-F910	Centro_1	Mirador Rio_1
0000-0203-EC10	0000-0203-F920	Centro_1	Mirador Rio_2
0000-0203-EC20	0000-0203-F900	Centro_2	Mirador Rio_0
0000-0203-EC20	0000-0203-F910	Centro_2	Mirador Rio_1
0000-0203-EC20	0000-0203-F920	Centro_2	Mirador Rio_2
0000-0203-EC00	0000-0203-F800	Centro_0	Mueblería Vera_0
0000-0203-EC00	0000-0203-F820	Centro_0	Mueblería Vera_2
0000-0203-EC10	0000-0203-F800	Centro_1	Mueblería Vera_0
0000-0203-EC10	0000-0203-F810	Centro_1	Mueblería Vera_1
0000-0203-EC00	0000-0204-0400	Centro_0	Camara de Ind_0
0000-0203-EC00	0000-0204-0410	Centro_0	Camara de Ind_1
0000-0203-EC20	0000-0204-0400	Centro_2	Camara de Ind_0
0000-0203-EC20	0000-0204-0410	Centro_2	Camara de Ind_1
0000-0203-EC00	0000-0203-EF10	Centro_0	Talleres_1
0000-0203-EC00	0000-0203-EF20	Centro_0	Talleres_2
0000-0203-EC20	0000-0203-EF00	Centro_2	Talleres_0
0000-0203-EC20	0000-0203-EF10	Centro_2	Talleres_1
0000-0203-EC20	0000-0203-EF20	Centro_2	Talleres_2
0000-0203-F800	0000-0203-E910	Mueblería Vera_0	Americas_1
0000-0203-F800	0000-0203-F810	Mueblería Vera_0	Mueblería Vera_1
0000-0203-F800	0000-0203-F820	Mueblería Vera_0	Mueblería Vera_2
0000-0203-F810	0000-0203-EC00	Mueblería Vera_1	Centro_0
0000-0203-F810	0000-0203-EC20	Mueblería Vera_1	Centro_2
0000-0203-F810	0000-0203-F720	Mueblería Vera_1	Cristo Rey_2
0000-0203-F810	0000-0203-F800	Mueblería Vera_1	Mueblería Vera_0
0000-0203-F810	0000-0203-F820	Mueblería Vera_1	Mueblería Vera_2
0000-0203-F820	0000-0203-E910	Mueblería Vera_2	Americas_1
0000-0203-F820	0000-0203-EC20	Mueblería Vera_2	Centro_2
0000-0203-F820	0000-0203-F800	Mueblería Vera_2	Mueblería Vera_0
0000-0203-F820	0000-0203-F810	Mueblería Vera_2	Mueblería Vera_1
0000-0203-F820	0000-0204-0600	Mueblería Vera_2	Esc Panama_0
0000-0203-F810	0000-0204-0600	Mueblería Vera_1	Esc Panama_0
0000-0203-F800	0000-0204-0600	Mueblería Vera_0	Esc Panama_0
0000-0203-F820	0000-0204-0610	Mueblería Vera_2	Esc Panama_1
0000-0203-F810	0000-0204-0610	Mueblería Vera_1	Esc Panama_1
0000-0203-F820	0000-0204-0620	Mueblería Vera_2	Esc Panama_2
0000-0203-F810	0000-0203-F520	Mueblería Vera_1	Escuela Allende_2
0000-0203-F800	0000-0203-F710	Mueblería Vera_0	Cristo Rey_1
0000-0203-F800	0000-0203-F720	Mueblería Vera_0	Cristo Rey_2
0000-0203-F800	0000-0203-E920	Mueblería Vera_0	Americas_2

Continúa en la página siguiente.

ID Sector	ID Sector Vecino	Nombre Sector	Nombre Sector Vecino
0000-0203-F800	0000-0203-EC20	Mueblería Vera_0	Centro_2
0000-0203-F800	0000-0203-F700	Mueblería Vera_0	Cristo Rey_0
0000-0203-F800	0000-0203-E900	Mueblería Vera_0	Americas_0
0000-0203-F800	0000-0203-F900	Mueblería Vera_0	Mirador Rio_0
0000-0203-F800	0000-0204-1100	Mueblería Vera_0	Equindencia_0
0000-0203-F810	0000-0203-F710	Mueblería Vera_1	Cristo Rey_1
0000-0203-F810	0000-0203-E910	Mueblería Vera_1	Americas_1
0000-0203-F820	0000-0204-0500	Mueblería Vera_2	Quifatex_0
0000-0203-F820	0000-0203-F900	Mueblería Vera_2	Mirador Rio_0
0000-0203-F820	0000-0203-E920	Mueblería Vera_2	Americas_2
0000-0203-F820	0000-0204-0100	Mueblería Vera_2	El Reloj_0
0000-0203-F820	0000-0203-F910	Mueblería Vera_2	Mirador Rio_1
0000-0203-F820	0000-0204-0510	Mueblería Vera_2	Quifatex_1
0000-0203-F820	0000-0204-1100	Mueblería Vera_2	Equindencia_0
0000-0203-F800	0000-0203-F610	Mueblería Vera_0	Parque Victoria_1
0000-0203-F810	0000-0203-F610	Mueblería Vera_1	Parque Victoria_1
0000-0203-F800	0000-0203-F620	Mueblería Vera_0	Parque Victoria_2
0000-0203-F810	0000-0203-F620	Mueblería Vera_1	Parque Victoria_2
0000-0203-F810	0000-0203-F900	Mueblería Vera_1	Mirador Rio_0
0000-0203-F800	0000-0204-1110	Mueblería Vera_0	Equindencia_1
0000-0203-F800	0000-0204-1120	Mueblería Vera_0	Equindencia_2
0000-0203-F810	0000-0204-1100	Mueblería Vera_1	Equindencia_0
0000-0203-F810	0000-0204-1110	Mueblería Vera_1	Equindencia_1
0000-0203-F810	0000-0204-1120	Mueblería Vera_1	Equindencia_2
0000-0203-F820	0000-0204-1110	Mueblería Vera_2	Equindencia_1
0000-0203-F820	0000-0204-1120	Mueblería Vera_2	Equindencia_2
0000-0203-F810	0000-0203-E900	Mueblería Vera_1	Americas_0
0000-0203-F810	0000-0203-E920	Mueblería Vera_1	Americas_2
0000-0203-F820	0000-0203-E900	Mueblería Vera_2	Americas_0
0000-0203-F810	0000-0203-F700	Mueblería Vera_1	Cristo Rey_0
0000-0203-F820	0000-0203-F700	Mueblería Vera_2	Cristo Rey_0
0000-0203-F820	0000-0203-F710	Mueblería Vera_2	Cristo Rey_1
0000-0203-F820	0000-0203-F720	Mueblería Vera_2	Cristo Rey_2
0000-0203-F800	0000-0203-F600	Mueblería Vera_0	Parque Victoria_0
0000-0203-F810	0000-0203-F600	Mueblería Vera_1	Parque Victoria_0
0000-0203-F820	0000-0203-F600	Mueblería Vera_2	Parque Victoria_0
0000-0203-F820	0000-0203-F610	Mueblería Vera_2	Parque Victoria_1
0000-0203-F820	0000-0203-F620	Mueblería Vera_2	Parque Victoria_2
0000-0203-F800	0000-0203-EC00	Mueblería Vera_0	Centro_0
0000-0203-F800	0000-0203-EC10	Mueblería Vera_0	Centro_1
0000-0203-F810	0000-0203-EC10	Mueblería Vera_1	Centro_1
0000-0203-F820	0000-0203-EC00	Mueblería Vera_2	Centro_0
0000-0203-F820	0000-0203-EC10	Mueblería Vera_2	Centro_1

Anexo 4: Resultados de las pruebas de campo de la red WiMAX realizadas en la Ciudad de Cuenca

Cuadro 4.3: Pruebas de campo de la red WiMAX realizadas en la Ciudad de Cuenca

Dirección	BTS (sector)	CINR (dB)	RSSI (dBm)	Dirección IP	Señal (%)
Panamericana y Puerto Palos	O_Mercurio_1	24	-57	190.94.138.247	100
Panamericana y Alfonso Pizon	Narancay_0	21	-64	190.94.138.247	72
Panamericana y Av. Americas	Narancay_0	31	-48	190.94.138.247	96
Av. Americas y 2 de Agosto	Narancay_0	27	-55	190.94.138.247	100
Av. Americas y Francisco Trelles	O_Mercurio_1	19	-69	190.94.138.247	76
Av. Americas y Francisco Ascasubi	Tiempo_2	17	-68	190.94.138.247	92
Av. Americas y Camino V. a Baños	O_Mercurio_1	33	-44	190.94.138.247	100
Av Americas y Donbosco	O_Mercurio_0	29	-51	190.94.138.247	100
Av. Americas e Isabel la Catolica	Tiempo_0	11	-73	190.94.138.247	56
Av. Americas y 1 de Mayo	Crea_2	13	-68	191.100.8.116	88
Av. Americas (Parque el Dragon)	Crea_2	13	-66	191.100.8.116	100
Av. Americas y Francisco Aguilar	Crea_0	30	-47	191.100.8.116	100
Francisco Aguilar y Mariano Estrella	Crea_0	24	-57	191.100.8.116	100
Francisco Aguilar y Francisco Cisneros	Arenal_1	30	-56	191.100.8.116	100
Francisco Cisneros y Daniel Fernandez	Arenal_1	34	-41	191.100.8.116	100
Francisco Cisneros y Victor tinoco	Arenal_1	23	-61	191.100.8.116	100
A. Maria Estrella y Av Americas	Arenal_1	17	-70	191.100.8.116	84
Av. Americas y Belice	Crea_0	26	-49	190.94.140.210	100
Av. Americas y Nicaragua	Crea_0	16	-58	190.94.140.210	100
Av. Americas y Ecuador	Crea_0	13	-59	190.94.140.210	100
Av. Americas y Guayas	Crea_0	9	-64	190.94.140.210	100
Av Americas y Remigio Crespo	Arenal_1	17	-58	190.94.140.210	100
Remigio Crespo y Venezuela	Quifatex_1	15	-57	190.94.140.210	100
Remigio Crespo y Latinoamerica	Quifatex_1	31	-37	190.94.140.210	100
Latinoamericana y Brasil	Quifatex_0	32	-38	190.94.140.210	100
Latinoamericana y Malvinas	Crea_0	17	-59	190.94.140.210	100
Malvinas y Guantanamo	Crea_0	9	-72	190.94.140.210	72
Rep Dominicana y Guantanamo	Crea_1	5	-77	190.94.140.210	52
Rep Dominicana y Amazonas	Crea_0	24	-48	190.94.140.210	100
Amazonas y Colombia	Quifatex_1	6	-62	190.94.140.210	100
Colombia y Rep Dominicana	Crea_1	9	-72	190.94.140.210	68
Rep Dominicana Y Barbados	Crea_0	12	-67	190.94.140.210	92
Venezuela y Ecuador	Crea_0	24	-54	190.94.140.210	100
Venezuela y Amazonas	Quifatex_1	10	-66	190.94.140.210	96
Venezuela y Remigio Crespo	Crea_0	14	-55	190.94.140.210	100
Remigio Crespo y Loja	Centro_0	15	-64	190.94.140.210	92
Av loja y Alfonso Borrero	Centro_0	18	-63	190.94.140.210	100
Av. Loja y Lorenzo Piedra	Centro_0	7	-71	190.94.140.210	72
Remigio Crespo y Lorenzo Piedra	Es._Panama_0	17	-55	190.94.140.210	100
Remigio Crespo y alfonso Borrero	Esc._Panama_0	18	-62	190.94.140.210	100
Alfonso Borrero y Julio Matovelle	Esc._Panama_1	24	-52	190.94.140.210	100
Alfonso Borrero y Gonzalo Cordero	Esc._Panama_1	17	-51	190.94.140.210	100
Gonzalo Cordero y Ricardo Muñoz	Esc._Panama_1	27	-49	190.94.140.210	100
Ricardo Muñoz y Alfonso Moreno	Oftalmolaser_0	19	-60	190.94.140.210	72
Ricardo Muñoz y Av. 10 de Agosto	Oftalmolaser_2	18	-58	190.94.140.210	100
Ricardo Muñoz y Nov. 27 de Feb	El_reloj_1	19	-67	190.94.140.210	96
Av. 1 de Mayo y Ricardo Muñoz	El_reloj_1	27	-54	190.94.140.210	100
Av. 1 de Mayo y Francisco de O	El_reloj_2	22	-54	190.94.140.210	100
Av. 1 de Mayo y Loja	El_reloj_2	23	-53	190.94.140.210	100

Continúa en la página siguiente.

Dirección	BTS (sector)	CINR (dB)	RSSI (dBm)	Dirección IP	Señal (%)
Av. 1 de Mayo y Cieza de Leon	Crea_1	26	-58	190.94.140.210	100
Av. 1 de Mayo y Fray Gaspar	El_reloj_2	6	-78	190.94.140.210	88
Av 1 de Mayo y Americas	El_reloj_0	10	-67	190.94.140.210	92
Av 1 de Mayo y Americas	Crea_1	22	-54	190.94.140.210	100
Av. 1 de Mayo y Fray Gaspar	Crea_2	20	-56	190.94.140.210	100
Av. 1 de Mayo y Cieza de Leon	El_reloj_2	13	-68	190.94.136.179	88
Av. Loja y Av. 1 de Mayo	El_reloj_2	17	-64	190.94.136.229	100
Av. Loja y Av. Isabel la Cat	El_Tiempo_0	30	-54	190.94.136.229	100
Av. Loja y DonBosco	El_Tiempo_0	31	-51	190.94.136.229	100
Don Bosco y Miguel Cervantes	DonBosco_2	24	-53	190.94.136.229	100
Don Bosco y Francisco de O	DonBosco_2	28	-47	190.94.136.229	100
Don Bosco y 12 de Octubre	DonBosco_2	32	-38	190.94.136.229	100
Don Bosco y Francisco Jerez	DonBosco_2	23	-58	190.94.136.229	100
Francisco Cisneros y Carlos Berrezueta	Arenal_1	28	-57	201.238.181.219	100
Isauro Rodriguez y Miguel Ortega	Arenal_2	31	-41	190.94.135.149	100
Isauro Rodriguez Y Carlos Berrezueta	Arenal_0	25	-66	190.94.135.149	96
Av. Carlos Arizaga e Isauro Rodriguez	Arenal_0	27	-54	190.94.135.149	100
Av. Carlos Arizaga y Francisco Cisneros	Arenal_1	25	-59	190.94.135.149	100
Av. Carlos Arizaga y Av. Americas	Arenal_1	19	-67	190.94.135.149	92
Av. Americas y Carlos Berrezueta	Crea_0	26	-49	201.238.154.135	100
Av. Mexico y Av Americas	Crea_0	31	-52	201.238.154.135	100
Av. Mexico y El Salvador	Crea_1	6	-76	201.238.154.135	64
Av 10 de Agosto y Loja	Quifatex_1	8	-63	201.238.154.135	100
Sector Iglesia Verbo	Crea_1	18	-59	201.238.154.135	100
Av. 10 de Agosto y Ortencia Mata	El_reloj_2	26	-46	201.238.154.135	100
Av. 10 de Agosto y Pichincha	El_reloj_0	30	-44	201.238.154.135	100
Av. 10 de Agosto y Alfonso Borrero	El_reloj_1	14	-56	201.238.154.135	100
Av. 10 de Agosto y Cesar Dávila	Oftalmolaser_2	15	-54	201.238.154.135	100
Av. 10 de Agosto y 27 de Febrero	Oftalmolaser_2	20	-53	201.238.154.135	100
Av. 10 de Agosto y Federico Proaño	Oftalmolaser_1	29	-44	201.238.154.135	100
Av 10 de Agosto y Ramirez	Oftalmolaser_1	16	-66	201.238.154.135	96
Av. 10 de Agosto y Eduardo Malo	Yanuncay_2	21	-56	201.238.154.135	100
Av. 10 de Agosto y Roberto Crespo	Yanuncay_2	25	-55	201.238.154.135	100
Av. 10 de Agosto y Francisco Moscoso	Yanuncay_1	28	-52	201.238.154.135	100
Av. 10 de Agosto y Las Herrerias	UDA_0	22	-58	201.238.154.135	100
Redondel Gapal Av. Gapal	Yanuncay_0	11	-64	201.238.154.135	100
Esc. Fe y Alegria	Yanuncay_1	18	-70	201.238.182.16	84
Huila y Av. Hurtado de M	Ricaurte_2	11	-68	191.100.8.60	88
Sagep y Av. Hurtado de M	Volante_1	11	-72	190.94.141.60	76
Av. Hurtado de Mendoza y Huayapongo	Volante_1	18	-60	201.238.181.9	100
Av. Hurtado de Mendoza y Antisana	Terminal_0	12	-73	201.238.181.9	68
Av. Hurtado de Mendoza y P. Cañaris	Terminal_0	8	-72	201.238.181.9	72
Col. Herlinda Toral	Totoracocha_0	8	-63	201.238.181.9	100
Av. P. de los Cañaris y Yanahurco	Totoracocha_1	16	-71	201.238.181.9	76
Av. P. de los Cañaris y Río Malacatus	Totoracocha_1	11	-74	201.238.181.9	64
Av. P. de los Cañaris y Río Malacatus	E_Electrica_2	11	-75	201.238.181.9	60
Av. P. de los Cañaris y G. Suarez	Totoracocha_1	19	-70	201.238.154.2	80
Av. P. de los Cañaris y Av. Max Uhle	Totoracocha_1	29	-55	201.238.154.2	100
Av. Max Uhle y Cesar Vallejo	E_Electrica_2	27	-62	201.238.154.2	100
Av. Max Uhle y Av. 24 de Mayo	E_Electrica_2	30	-42	201.238.154.2	100
Av. 24 de Mayo y Ambato	E_Electrica_1	16	-44	201.238.154.2	100
Av. Donbosco y El Greco	Mall	19	-56	190.94.141.184	100
Av. 24 de Mayo - (Tres puentes)	El	7	-71	190.94.141.184	76
Av. 24 de Mayo sector UDA	UDA_2	34	-41	201.238.181.188	100

Continúa en la página siguiente.

Dirección	BTS (sector)	CINR (dB)	RSSI (dBm)	Dirección IP	Señal (%)
Av. 24 de Mayo sector GAPAL	UDA_0	21	-56	201.238.181.188	100
Hospital Vicente Corral Moscoso	TALLERES_1	21	-56	191.100.8.187	80
Av. Huaynacapac y Pizar-Capaq	TALLERES_0	25	-57	191.100.8.187	100
Av. Huaynacapac y Eloy Alfaro	CENTRO_1	11	-72	191.100.8.187	72
Av. Huaynacapac Y Juan Jose Flores	Totoracocha_2	12	-70	191.100.8.187	80
Av. Huaynacapac Y La República	TALLERES_0	2	-80	191.100.8.187	40
Av. G. Suarez y Gonzalo Zaldumbide	Terminal_0	17	-68	191.100.8.81	88
Bolivar y Av. Huayna Capac	CamIndustrias_0	8	-77	191.100.8.81	52
Bolivar (SAN BLAS)	CENTRO_0	15	-68	191.100.8.81	88
Bolivar y Hermano Miguel	CamIndustrias_0	13	-73	191.100.8.81	68
Hermano Miguel y Gran Colombia	CamIndustrias_2	7	-79	191.100.8.81	44
Mariano Cueva y Mariscal Lamar	CristoRey_1	12	-74	191.100.8.42	64
Lamar y General Torres	VeraVázquez_1	25	-59	201.238.154.211	100
Tarqui y Gaspar Sangurima	VeraVázquez_1	27	-59	201.238.154.211	100
Gran Colombia y General Torres	VeraVázquez_1	23	-67	201.238.154.211	92
General Torres y Sucre	CENTRO_2	13	-72	201.238.180.190	72
Lamar y Tarqui	VeraVázquez_1	29	-53	191.100.8.107	100
Estevez de Toral Y Gran Colombia	VeraVázquez_2	23	-57	190.94.136.184	100
Abraham Sarmiento Y Sangurima	Mirador_0	12	-64	191.100.8.187	100
Coronel Talbot y Gran Colombia	VeraVázquez_2	21	-59	201.238.183.101	100
Coronel Talbot y Sucre	VeraVázquez_2	12	-64	201.238.183.101	100
Coronel Talbot y Cordova	Esc.Panama_1	9	-71	201.238.183.101	76
Col. Sagrados Corazones	Mirador_1	25	-56	190.94.135.77	100
Av. Florencia Astudillo y Av. Solano	Centro_1	10	-73	201.238.180.44	68
Av. F. Astudillo y Av. del estadio	CamIndustrias_2	22	-51	201.238.180.44	100
Parque de la Madre	CamIndustrias_0	32	-48	201.238.154.193	100
Av. Estadio Sector Banco del Austro	CamIndustrias_1	20	-57	201.238.154.193	100
Av. Estadio y Av. Florencia Astudillo	CamIndustrias_2	16	-58	201.238.154.193	100
Av. Solano y Luis Moreno Mora	Oftalmo_1	19	-66	201.238.154.193	96
Av. 12 de Abril y Av. Jose Peralta	CamIndustrias_0	24	-59	201.238.154.193	100
Calle Larga y Jesus Arriaga	Talleres_0	29	-53	201.238.154.193	100
Manuel Vega y Mariscal Sucre	CamIndustrias_0	7	-83	201.238.154.193	28
Simon Bolivar y Manuel Vega	Talleres_0	6	-82	201.238.154.193	28
Luis Cordero y Lamar	CrsitoRey_1	14	-72	201.238.154.193	72
Antonio V Muñoz y Gnrl Torres	VeraVázquez_1	15	-69	190.94.136.236	84
Antonio V Muñoz y Estevez de Toral	Americas_1	19	-68	190.94.136.236	88
Parque Otorongo	VeraVázquez_2	9	-78	190.94.141.39	48
Calle larga y benigno Malo	CamIndustrias_2	8	-75	201.238.183.133	24
Calle larga y huaynacapac	Talleres_0	26	-58	201.238.183.133	100
Vergel	Talleres_2	6	-76	201.238.183.133	76
Av. P. de los Cañaris y el Observador	Totoracocha_1	25	-59	201.238.183.133	100
Av. G. Suarez y P. de los Cañaris	E_Electrica_2	22	-65	201.238.183.133	100
Colegio Herlinda Toral	Terminal_0	15	-66	201.238.183.133	96
Hurtado de Mendoza y Av. Los Andes	Volante_1	22	-67	201.238.183.133	92
Cementerio	Terminal_1	18	-65	201.238.183.133	96
Redondel Virgen de Bronce	Oftalmo_1	25	-58	201.238.183.133	100
Av. Loja y Av. 10 de Agosto	Quifatex_1	11	-66	201.238.183.133	96
Av. Loja y Pichincha	Mirador_2	6	-83	201.238.182.142	28
Av. Loja y Remigio Crespo	Esc.Panamá_0	12	-69	191.100.8.25	64
Feria Libre	Quifatex_1	9	-65	191.100.8.25	100
Pio Bravo y Manuel Vega	Terminal_1	17	-64	201.238.182.44	100
Av. Gil Ramirez y Heroes de Verdeloma	P_Victoria_1	17	-55	201.238.182.44	100
Av. Gil Ramirez y del Chorro	P_Victoria_1	19	-58	201.238.182.44	100
Av. Gil Ramirez y Chapetones	Terminal_0	21	-60	201.238.182.44	100

Continúa en la página siguiente.

Dirección	BTS (sector)	CINR (dB)	RSSI (dBm)	Dirección IP	Señal (%)
Av. Gil Ramirez y Alcabalas	Terminal_0	27	-47	201.238.182.44	100
Av. Gil Ramirez y Sevilla	Terminal_0	34	-43	201.238.182.44	100
Av. Gil Ramirez y F Pizarro	Terminal_0	34	-44	201.238.182.44	100
Av. Gil Ramirez y Av. Elia Liut	Terminal_0	24	-54	201.238.182.44	100
Av. Gil Ramirez y Turuhaico	Volante_2	29	-44	201.238.182.44	100
Av. Gil Ramirez y de las Laderas	Volante_2	30	-47	201.238.182.44	100
Av. Gil Ramirez y Av. España	Volante_0	21	-48	201.238.182.44	100
Av. España y Bilbao	Volante_0	21	-53	201.238.182.44	100
Av. España y H de Mendoza	Ricaurte_2	23	-59	201.238.182.44	100
Av. Hurtado de Mendoza y Chiles	Ricaurte_2	27	-54	201.238.182.44	100
Av. Hurtado de Mendoza y Sagep	Terminal_0	9	-62	169.254.44.46	100
Av. Los Andes y Cajas	El Volante_1	19	-66	190.94.140.70	100
Av. Los Andes y Totoracocha	El Volante_1	17	-69	190.94.140.70	76
Av. Los Andes y Bueran	Totoracocha_0	8	-72	190.94.140.70	72
Av. Los Andes y Altar	Totoracocha_0	7	-75	190.94.140.70	60
Av. Los Andes y Mama-oclo	Curtiembre_2	7	-80	201.238.154.245	40
Av. Los Andes y Charruas	Curtiembre_2	1	-85	201.238.154.245	20
Av. Los Andes y Moctezuma	Curtiembre_1	14	-67	201.238.154.245	92
Av. Los Andes y G. Suarez	Curtiembre_1	14	-64	201.238.154.245	100
Av. G. Suarez parque Serpentina	Curtiembre_1	33	-38	201.238.154.245	100
Av. G. Suarez parque Serpiente	Curtiembre_0	33	-44	201.238.154.245	100
Entrada Urb las Palmeras	Curtiembre_0	32	-47	201.238.154.245	100
Av. G. Suarez y Duchicela	Curtiembre_0	31	-49	201.238.154.245	100
Av. G. Suarez y Reino de Quito	Curtiembre_0	29	-46	201.238.154.245	100
Av. G. Suarez y Del edil	Curtiembre_1	21	-65	201.238.154.245	96
Av. G. Suarez y Tahuantinsuyo	Col_Ing2_2	30	-56	201.238.154.245	100
Av. G. Suarez y Cumandá	Curtiembre_2	18	-66	201.238.154.245	100
Av. G. Suarez y Tabaré	Col_Ing2_2	30	-54	201.238.154.245	100
Entrada Urb Col Ingenieros	Col_Ing1_1	26	-55	201.238.154.245	100
Av. G. Suarez y Ben-Hur	Col_Ingenieros1_1	21	-66	201.238.154.245	88
Av. G. Suarez y Cumandá	Col_Ing1_1	23	-67	201.238.154.245	92
Av. G. Suarez y Panamericana Norte	Col_Ing1_2	23	-49	201.238.154.245	100
Av. G. Suarez Rio Machángara	Col_Ing1_2	32	-43	201.238.154.245	100
Av. G. Suarez y Av Amercias	Col_Ing2_0	26	-32	201.238.154.245	100
Av de las Americas	Col_Ing2_2	33	-47	201.238.154.245	100
Av. G. Suarez y Av Amercias	Col_Ing2_2	33	-40	201.238.154.245	100
Av. G. Suarez y Daquilema	Col_Ing2_2	32	-48	201.238.154.245	100
Av. G. Suarez y Pintag	Curtiembre_0	25	-57	201.238.154.245	100
Av. G. Suarez parque Serpiente	Curtiembre_1	29	-47	201.238.154.245	100
Av. G. Suarez parque Serpentina	Curtiembre_1	28	-49	201.238.154.245	100
Av. G. Suarez y Av Los Andes	Curtiembre_1	28	-44	201.238.154.245	100
Nasaconta Puento y Av. G. Suarez	Curtiembre_1	22	-60	201.238.154.245	100
Nasaconta Puento y Princesa Pacha	Curtiembre_1	32	-37	201.238.154.245	100
Nasaconta Puento y Hualcopo	Curtiembre_1	32	-35	201.238.154.245	100
Hualcopo y Antiplano	Curtiembre_1	30	-56	201.238.154.245	100
Antiplano y Av los Andes	Curtiembre_1	19	-68	201.238.154.245	88
Del Condor y de los Paltas	Terminal_0	10	-70	201.238.154.245	80
Del Condor y Totoracocha	Terminal_0	6	-72	201.238.154.245	72
Del Condor y Totoracocha	Totoracocha_0	13	-63	201.238.154.245	100
Los Puruhaes y Totoracocha	El Volante_1	14	-73	190.94.136.217	60
Totoracocha y Av. Los Andes	El Volante_1	9	-73	190.94.136.217	60
Av G. Suarez y Chapultepec	Totoracocha_1	14	-65	190.94.136.217	100
Monay Shopping	Totoracocha_1	11	-72	190.94.136.217	72
Av G. Suarez y 13 de Abril	Totoracocha_1	22	-66	190.94.136.217	96

Continúa en la página siguiente.

Dirección	BTS (sector)	CINR (dB)	RSSI (dBm)	Dirección IP	Señal (%)
Av G. Suarez y Tumbambiro	Totoracocha_1	18	-62	190.94.136.217	100
Av G. Suarez y P. de los Cañaris	Totoracocha_1	24	-61	190.94.136.217	100
Av G. Suarez y Rio Upano	Totoracocha_1	13	-75	190.94.136.217	60
Rio Upano y Sumaco	E_Electrica_2	17	-74	190.94.136.217	64
Rio Upano y Chiguauh	Totoracocha_1	18	-67	190.94.136.217	100
Rio Upano y Yanahurco	Totoracocha_1	15	-61	190.94.136.217	92
Rio Upano y Rumi-Urco	Totoracocha_1	15	-72	190.94.136.217	92
Rio Upano y Rio Palora	Totoracocha_0	11	-72	190.94.136.217	92
Rio Palora y Rio Jubones	Totoracocha_0	13	-72	190.94.136.217	64
Rio Jubones y Rio Malacatus	Terminal_0	13	-72	190.94.136.217	64
Ayapungo y Rio Upano	Totoracocha_0	9	-55	190.94.136.217	100
Yanahurco y Rio Cutucu	Totoracocha_1	18	-64	190.94.136.217	100
Yanahurco y Guapdondelig	Totoracocha_2	27	-52	190.94.136.217	100
Guapdondelig y Av. G. Suarez	Totoracocha_2	30	-40	190.94.136.217	100
Guapdondelig y Juan Jose Flores	Totoracocha_2	20	-55	190.94.136.217	100
Guapdondelig y Gustavo Lemus	Totoracocha_2	27	-55	190.94.136.217	100
Guapdondelig y Eloy Alfaro	Totoracocha_2	13	-64	190.94.136.217	96
Eloy Alfaro y Velasco Ibarra	Talleres_0	3	-74	190.94.136.217	72
Eloy Alfaro y Juan Leon Mera	Centro_0	17	-61	190.94.136.217	100
Eloy Alfaro y Huaynacapac	Centro_1	17	-69	190.94.136.217	84
Av. Loja y 3 de Nov.	Centro_2	13	-72	190.94.136.152	64
Larga y Tarqui	Crea_0	7	-68	201.238.181.117	88
Larga y Tarqui	Reloj_1	4	-83	201.238.181.117	48
Mercado 10 de agosto	Centro_2	12	-73	201.238.181.117	68
Calle larga y padre Aguirree	Centro_2	11	-78	201.238.181.117	48
Calle larga y Benigno Malo	Centro_1	12	-76	201.238.181.117	56
Calle larga y Luis Cordero	Centro_1	20	-61	201.238.181.117	100
Larga y Borrero	Centro_1	17	-73	201.238.181.117	84
Larga y Hermano Miguel	Allende_1	17	-63	201.238.181.117	100
Larga y Mariano Cueva	Centro_1	15	-70	201.238.181.117	88
Larga y Alfonso Jerves	Cam_Industrias_0	29	-44	201.238.181.117	100
Larga y Vargas Machuca	Cam_Industrias_0	29	-44	201.238.181.117	100
Larga y Tomas Ordoñez	Cam_Industrias_0	31	-46	201.238.181.117	100
Larga y Manuel Vega	Cam_Industrias_0	23	-56	201.238.181.117	100
Larga y Miguel A. estrella	Cam_Industrias_0	23	-55	201.238.181.117	100
Larga y Jesus Ariaga	Talleres_2	23	-52	201.238.181.117	100
Jesus Ariaga y Alfonso Malo	Talleres_0	23	-62	201.238.181.117	100
Alfonso Malo y Jesus Arriaga	Cam_Industrias_0	19	-67	201.238.181.117	92
Alfonso Malo y Miguel A. estrella	Cam_Industrias_0	18	-66	201.238.181.117	96
Manuel Vega y Alfonso Malo	Cam_Industrias_0	25	-56	201.238.181.117	100
Alfonso Jerves y Miguel A. estrella	Talleres_0	11	-77	201.238.181.117	56
Jesus Arriaga y H. Vázquez	Cam_Industrias_0	23	-67	201.238.181.117	92
H. Vázquez y Miguel A. Estrella	Talleres_0	12	-70	201.238.181.117	80
H. Vázquez y Manuel Vega	Cam_Industrias_0	25	-58	201.238.181.117	100
H. Vázquez y Tomas Ordoñez	Cam_Industrias_0	13	-72	201.238.181.117	72
H. Vázquez y Vargas Machuca	Allende_1	10	-65	201.238.181.117	100
H. Vázquez y Mariano Cueva	Cam_Industrias_0	4	-83	201.238.181.117	24
H. Vázquez y Hermano Miguel	Cam_Industrias_0	19	-71	201.238.181.117	72
H. Vázquez y Borrero	Centro_1	18	-70	201.238.181.117	80
H. Vázquez y Luis Cordero	Centro_1	20	-67	201.238.181.117	92
Juan Jaramillo y Luis Cordero	Centro_1	31	-51	201.238.181.117	100
Juan Jaramillo y Borrero	Centro_1	21	-68	201.238.181.117	100
Juan Jaramillo y Hermano Miguel	Centro_1	23	-62	201.238.181.117	100
Juan Jaramillo y Mariano Cueva	Allende_1	28	-48	201.238.181.117	100

Continúa en la página siguiente.

Dirección	BTS (sector)	CINR (dB)	RSSI (dBm)	Dirección IP	Señal (%)
Juan Jaramillo y Vargas Machuca	Allende_1	18	-55	201.238.181.117	100
Juan Jaramillo y Barrio del Obrero	Allende_1	12	-64	201.238.181.117	100
Juan Jaramillo y Tomas Ordoñez	Allende_1	13	-64	201.238.181.117	100
Manuel Vega y P Cordova	Allende_1	10	-77	201.238.181.117	52
Manuel Vega y Bolivar	Allende_1	24	-52	201.238.181.117	100
Bolivar y Manuel Vega (San Blas)	Allende_0	27	-50	201.238.181.117	100
Tomas Ordonez y Sucre	Allende_0	22	-60	201.238.181.117	100
P Cordova y Tomas Ordoñez	Cam_Industrias_0	13	-71	201.238.181.117	76
P Cordova (Parque Victor J Cuesta	Centro_2	11	-69	201.238.181.117	84
P Córdoba y Vargas Machuca	Centro_2	17	-68	201.238.181.117	88
P Cordova y Mariano Cueva	Cam_Industrias_0	9	-82	201.238.181.117	36
P Cordova y Hermano Miguel	Centro_1	30	-56	201.238.181.117	100
P Córdoba y Borrero	Centro_1	24	-62	201.238.181.117	100
P Cordova y Luis Cordero	Centro_1	28	-69	201.238.181.117	100
P Cordova y Benigno Malo	Centro_2	23	-58	201.238.181.117	100
P Cordova y padre aguirre	Centro_2	20	-68	201.238.181.117	88
P Córdoba y gnrl Torres	Centro_2	17	-71	201.238.181.117	76
P Cordova y Tarqui	Centro_2	20	-67	201.238.181.117	92
Sucre y Tarqui	Centro_2	18	-65	201.238.181.117	100
Sucre y Grnl Torres	Centro_2	26	-59	201.238.181.117	100
Sucre y Padre Aguirre	Centro_2	24	-57	201.238.181.117	100
Sucre y Benigno Malo	Centro_2	20	-60	201.238.181.117	100
Sucre y Luis Cordero	Centro_0	13	-55	201.238.181.117	100
Sucre y P Borrero	Centro_0	26	-49	201.238.181.117	100
Sucreo y Hermano Miguel	Cam_Industrias_0	17	-62	201.238.181.117	72
Sucre y mariano Cueva	Allende_1	17	-48	201.238.181.117	100
Sucre y Hermano Miguel	Allende_0	17	-58	201.238.181.117	100
Sucre y manuel Vega	Centro_0	16	-64	190.94.136.128	100
Manuel Vega y Sucre	Cam_Industrias_0	10	-75	190.94.136.128	60
Manuel vega y Bolivar	Allende_0	29	-45	190.94.136.128	100
Bolivar y Tomas Ordoñez	Allende_0	33	-42	190.94.136.128	100
Bolivar y Vargas Machuca	Allende_0	34	-40	190.94.136.128	100
Bolivar y Mariano Cueva	Allende_0	32	-41	190.94.136.128	100
Bolivar y Hermano Miguel	Allende_0	26	-55	190.94.136.128	100
Bolivar y Borrero	Allende_2	27	-57	190.94.136.128	100
Luis Cordero (P Calderón)	Centro_0	22	-45	190.94.136.128	100
Bolivar (P Calderón)	Centro_1	22	-58	190.94.136.128	100
Bolivar y Padre aguirre	Mueblería_1	6	-69	190.94.136.128	84
Bolivar y Gnrl Torres	Allende_0	11	-79	190.94.136.128	44
Bolivar y Tarqui	Mueblería_1	24	-53	190.94.136.128	100
Bolivar y Juan Montalvo	Mueblería_2	16	-73	190.94.136.128	68
Bolivar y Estevez de Toral	Mueblería_2	22	-54	190.94.136.128	100
Bolivar y Coronel Talbot	Mueblería_2	27	-55	190.94.136.128	100
Miguel Velez y Lamar	MiradorRio_0	6	-74	201.238.182.154	64
Miguel Velez Y Sangurima	MiradorRio_0	2	-78	201.238.182.154	48
Miguel Velez y Antonio V Muñoz	Americas_2	30	-50	201.238.182.154	100
Pio Bravo y Miguel Velez	Americas_1	19	-69	201.238.182.154	84
Pio Bravo y Coronel Talbot	Americas_1	20	-62	201.238.182.154	100
Coronel Talbot y Antonio Vega	Cristo_Rey_2	2	-75	201.238.182.154	60
Sangurima y Coronel Talbot	Mueblería_0	21	-64	190.94.136-184	100
Sangurima y Estevez de Toral	Mueblería_0	19	-64	190.94.136-184	100
Sangurima y juan montalvo	Mueblería_0	26	-51	190.94.136-184	100
Sangurima y Tarqui	Mueblería_0	18	-63	190.94.136-184	100
Sangurima y Gnrl Torres	Americas_1	5	-83	190.94.136-184	28

Continúa en la página siguiente.

Dirección	BTS (sector)	CINR (dB)	RSSI (dBm)	Dirección IP	Señal (%)
Sangurima y Padre Aguirre	Mueblería_1	22	-64	201.238.180.195	100
Sangurima y Benigno Malo	Mueblería_1	8	-72	201.238.180.195	72
Sangurima y Luis Cordero	Cristo_Rey_1	12	-76	201.238.180.195	56
Sangurima y Borrero	Cristo_Rey_1	3	-79	201.238.180.195	44
Sangurima y Hermano Miguel	Allende_2	11	70	201.238.180.195	80
Sangurima y Mariano Cueva	Allende_2	33	-39	201.238.180.195	100
Sangurima y Vargas Machuca	Allende_2	26	-58	201.238.180.195	100
Sangurima y Tomas Ordoñez	Victoria_1	10	-68	201.238.180.195	86
Lamar y tomas Ordoñez	Allende_2	11	-74	201.238.180.195	64
Lamar y Vargas Machuca	Mueblería_0	10	-64	201.238.180.195	100
Lamar y Mariano Cueva	Allende_2	7	-69	201.238.180.137	84
Lamar y Vargas Machuca	Allende_0	10	-69	201.238.180.137	84
Lamar Hermano Miguel	Allende_2	14	-59	201.238.180.137	100
Lamar y Luis Cordero	Cristo_Rey_1	7	-83	201.238.183.157	28
Lamar y Padre Aguirre	Mueblería_1	20	-65	191.100.8.5	100
Lamar y Gnrl Torres	Mueblería_1	24	-60	191.100.8.5	100
Lamar y TaRqui	Mueblería_1	28	-57	191.100.8.5	100
Lamar y Juan Montalvo	Americas_1	21	-65	191.100.8.5	100
Juan Montalvo y Gran Colombia	Mueblería_1	26	-61	191.100.8.5	100
Juan Montalvo y Bolivar	Mueblería_1	18	-63	191.100.8.5	100
Juan Montalvo y Sucre	Centro_2	24	-60	191.100.8.5	100
Pio Bravo y Padre Aguirre	Americas_1	21	-67	201.238.182.216	76
Pio Bravo y Benigno Malo	Americas_1	14	-75	201.238.182.216	100
Pio Bravo y Luis Cordero	Centro_0	8	-78	201.238.182.216	44
Pio Bravo y Borrero	Americas_1	13	-75	201.238.182.216	60
Pio Bravo y Hermano Miguel	Cristo_Rey_1	18	-70	201.238.182.216	80
Pio Bravo Y Mariano Cueva	Allende_2	28	-50	201.238.182.216	100
Pio Bravo Vargas Machuca	Cristo_Rey_1	12	-73	201.238.182.216	68
Pio Bravo y Tomas Ordoñez	Cristo_Rey_1	12	-76	201.238.182.216	56
Tomas Ordoñez y Antonio Vega	Terminal_0	5	-72	201.238.182.216	100
Antonio Vega y Tomas Ordoñez	Cristo_Rey_1	16	-66	201.238.182.216	96
Antonio Vega y Vargas Machuca	Allende_2	12	-71	201.238.182.216	76
Antonio V Muñoz y Mariano Cueva	Allende_2	25	-55	201.238.182.216	100
Antonio Vega y Hermano Miguel	Cristo_Rey_1	6	-73	201.238.182.216	72
Antonio Vega y Borrero	Cristo_Rey_1	11	-80	201.238.182.216	40
Antonio Vega y Luis Cordero	Cristo_Rey_1	20	-69	201.238.182.216	84
Antonio Vega y Benigno Malo	Cristo_Rey_1	17	-75	201.238.182.216	60
Antonio Vega y Padre Aguirre	Americas_1	8	-74	201.238.182.216	64
Antonio Vega y Gnrl Torres	Americas_1	15	-72	201.238.182.216	72
Antonio Vega y Tarqui	Americas_1	13	-75	201.238.182.216	60
Antonio Vega y Juan Montalvo	Americas_1	21	-65	201.238.182.216	100
Juan Montalvo y Lamar	Mueblería_0	23	-59	201.238.180.164	100
Juan Montalvo y Gran Colombia	Mueblería_1	28	-58	201.238.180.164	100
Juan Montalvo y Bolivar	Mueblería_1	18	-60	201.238.180.164	100
Juan Montalvo y Sucre	Centro_2	17	-56	201.238.180.164	80
P Córdoba y Juan Montalvo	Centro_2	20	-58	201.238.180.164	100
Paseo 3 de Nov. y Córdoba	MiradorRio_1	22	-58	201.238.183.38	80
Col Sagrados Corazones	MiradorRio_1	22	-57	201.238.183.38	100
Av 12 de Abril y Guayas	MiradorRio_1	12	-63	201.238.183.38	100
Mall del Rio	MallRio_1	27	-59	190.94.140.149	100

Anexo 5: BTSs intervenidas



Figura 4.2: BTSs Centro, Escuela Allende y Mueblería Vera Vázquez respectivamente

Anexo 6: Solapamiento red WiMAX de Cuenca

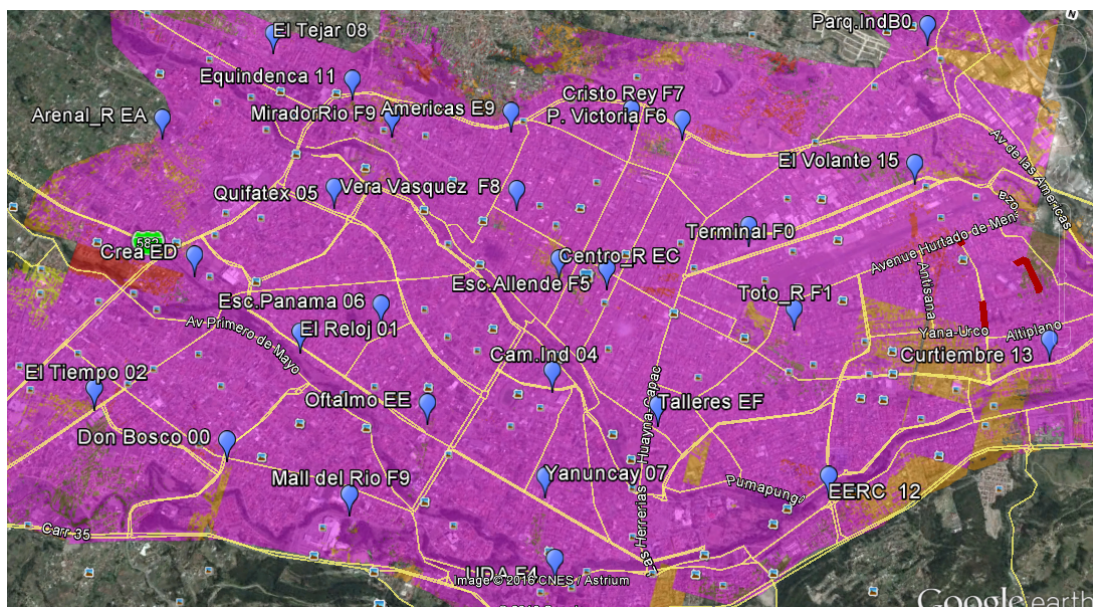


Figura 4.3: Solapamiento de la red WiMAX

Anexo 7: Fotos de Construcciones patrimoniales de Cuenca



Figura 4.4: calle Gaspar Sangurima



Figura 4.5: calle Antonio Vega Muñoz



Figura 4.6: calle Tarqui



Figura 4.7: calle Tarqui y Simón Bolívar